

Vaihtovirtatutoriaalien kehittäminen ja tehtävätyyppien hyödyntäminen oppimateriaalissa

Pro Gradu
Turun yliopisto
Fysiikan ja tähtitieteen laitos
Fysiikan opettajan linja
2017
LuK Miska Suominen
Tarkastajat:
FM Jaani Tuura
FT Minnamari Saloaro

TURUN YLIOPISTO
Fysiikan ja tähtitieteen laitos

Suominen, Miska Vaihtovirtatutoriaalien kehittäminen ja tehtävätyyppien hyödyntäminen oppimateriaalissa

Pro Gradu, 60 s., 5 liites. Sähköistä materiaalia
Fysiikan opettajan linja
Huhtikuu 2017

Sähkö- ja magnetismioppi on yhteiskunnassamme läsnä päivittäin kotien sähköntuotannosta erilaisiin sovelluksiin ja laitteisiin, joita käytämme joka päivä. Kuitenkin sähkö- ja magnetismioppi, erityisesti vaihtovirta ja vaihtovirtapiirit koetaan usein hankalaksi ja epämiellyttäväksi fysiikan osa-alueeksi, joka on vain välttämätön suoritettava.

Opetuksen kannalta on usein todettu, ettei luennointi ole tehokasta. Ennemminkin yksilöllinen lähestyminen, kokeileminen ja tekeminen on tehokasta. Turun yliopistolla käytössä oleva Ville -järjestelmä mahdollistaa eri kursseille erilaisia ennakko- tai kurssitehtäviä, jotka jokainen opiskelija voi tehdä omaan tahtiinsa. Tällöin jokainen opiskelija saa kuvan siitä, missä hänen oma ymmärryksensä asian opiskelun suhteen on ja hän osaa tarvittaessa kysyä esimerkiksi luennoilla lisää apua omiin vaikeuksiin herättäneisiin kysymyksiin.

Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena luoda kehittämistutkimuksellisen mallin mukaisesti sähkömagnetismiin ja vaihtovirtaan perustuvaa oppimateriaalia. Luotu materiaali annetaan eteenpäin testattavaksi ja arvioitavaksi, jonka jälkeen siihen pannaan uudelleen ja sitä kehitetään saadun palautteen perusteella. Palautteen perusteella pyritään myös selvittämään, minkälaisia tehtävätyyppejä on hyödyllistä käyttää sähköisessä oppimateriaalissa.

Tutkielmassa käsitellään myös oppimista, muistin toimintaa ja motivaation syntyä. Motivaatio on oleellinen, jotta henkilö itse kiinnostuu asiasta, muistia hän käyttää työstäessään opiskeltavaa asiaa.

Asiasanat: opetus, vaihtojännite, vaihtovirta, RLC-piiri, sähköinen oppimateriaali, kehittämistutkimus

Sisältö

Johdanto	1
1 Oppiminen	2
2 Fysiikan opetuksesta	3
3 Opetustyylin valinta	4
3.1 Flipped learning	5
3.2 Mastery learning	6
3.3 Aktiivinen luokkahuone	7
3.4 Motivaatio oppimistilanteessa	9
3.5 Tämä työ	10
4 Vaihtovirrasta	13
4.1 Sähkömagneettinen induktio	14
4.1.1 Lenzin laki	14
4.2 Induktiolaki	14
4.2.1 Magneettikentässä liikkuva johdoin	14
4.2.2 Faradayn ja Henryn lait	15
4.2.3 Itseinduktio	17
4.2.4 Generaattori	19
4.3 Vaihtovirta	21
4.3.1 Tehollinen jännite ja sähkövirta	21
4.3.2 Vaihtovirtapiiri ja komponentit	22
4.3.3 Vastus	23
4.3.4 Käämi	24
4.3.5 Kondensaattori	26
4.3.6 RCL- piiri	27

4.3.7	Tehonkulutus vaihtovirtapiirissä	29
4.3.8	Sarjaresonanssiipiiri	33
4.3.9	Muuntaja	36
4.4	Oppimisen edellytykset	37
5	Tutoriaaleista	41
5.1	Ville ja tutoriaalit	41
5.2	Hyvä tutoriaali	41
6	Tutoriaalien kehittäminen	44
6.1	Kehittämistutkimus	44
6.2	Tutoriaalien testaus	45
6.3	Tehtävätyyppien soveltuvuus	46
6.4	Tutoriaalin koostaminen	50
7	Johtopäätökset	52
8	Liitteet	56

Johdanto

Sähkömagnetismi on merkittävä fysiikan osa-alue, jonka tarjoamia mahdollisuuksia ihmiset hyödyntävät jokapäiväisessä elämässään jatkuvasti. Erityisesti vaihtojännite, vaihtovirtapiirit ja niiden sovellukset ovat jatkuvassa käytössä. Kuitenkin suuri osa myös fysiikan opiskelijoista kokee sähkö- ja magnetismin haastavana osa-alueena. Kurssien rakenteen vuoksi on periaatteessa mahdollista, että fysiikan opiskelija valmistuu maisteriksi ilman, että hän on juurikaan käsitellyt vaihtovirtaa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on luoda ja kehittää materiaalia, jonka avulla opiskelijoita voidaan tutustuttaa vaihtojännitteeseen ja vaihtovirtapiireihin. Tarkoituksena on ensisijaisesti madaltaa kynnystä vaihtovirtapiirien käsittelyyn, herättää mielenkiintoa ja kasvattaa motivaatiota osallistua jatkossakin vaihtovirtaan liittyville kursseille. Tutkimuksen aikana on tarkoitus selvittää, mitkä tehtävätyypit toimivat sähköisessä oppimateriaalissa ja millä tavalla oppimateriaalista saataisiin toimivaa.

Tutkimuksessa on kaksi osaa. Ensimmäisessä osassa on koottuna sähkömagneettisen induktion, vaihtovirran ja vaihtovirtapiirin teoriaa, sekä muutamia laskuesimerkkejä liitteenä. Lisäksi käsitellään erilaisia opetustyyplejä, muistin rakennetta opiskeltaessa ja motivaation syntymistä. Toisessa osuudessa on tehtynä sarja Villetutoriaaleja, joiden avulla opiskelijat pääsevät aloittamaan vaihtovirtaan tutustumisen omatoimisesti, mutta kuitenkin ohjatusti.

1 Oppiminen

Behavioristisen ajattelumallin mukaan oppiminen on sarja ärsyke-reaktiokytkentöjä. Näitä kytkentöjä säädellään vahvistamisella. Yksinkertaisesti ajateltuna tämä tarkoittaa ketjua, jossa henkilö vastaa hänelle esitettyyn kysymykseen. Oikeasta vastauksesta hän saa palkinnon kun taas väärästä vastauksesta hän saa jonkinlaisen rangaistuksen. [1]

Kognitiivisessa oppimisessa oppija pyrkii muokkaamaan ajattelunsa rakennetta itse. Oppiminen on tiedon prosessointia ja ristiriitaisten tilanteiden ratkaisemista. Oppijan mielessä syntyy ristiriita, kun hänen tietonsa ja taitonsa eivät riitäkään tilanteen ratkaisemiseen. Tähän oppija hakee ratkaisun joko assimilaation, uuden tiedon hankinnan, tai akkomodaation, vanhan tiedon uudelleenjärjestämisen kautta. [1] Yksi kognitiivisen oppimiskäsityksen tärkeimmistä seikoista on metakognitiot ja metakognitiivisten taitojen kehittäminen. Tällä tarkoitetaan sitä, että oppija oppii käsittämään oman oppimisensa. Toisin sanoen hän tietää mitä tietää ja tietää myös mitä ei vielä tiedä.

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen nähdään aktiivisena tiedon konstruointiprosessina eli tiedon rakentamisen prosessina. Oppimiskäsityksen keskeinen ajatus on se, ettei tieto sinällään siirry, vaan oppija konstruoi eli rakentaa tiedon itselleen uudelleen. Tällöin oppijan omat aikaisemmat ajatukset, tiedot, näkemykset ja kokemukset opiskeltavasta asiasta säätelevät paljon sitä, mitä hän havaitsee ja millä tavalla hän tulkitsee asiaa. Olennaista on, että oppijassa heräävät omiksi koetut, opittavaan asiaan liittyvät kysymykset, oma kokeilu, ongelmanratkaisu ja ymmärtäminen. Oppiminen onkin siis oppijan oman toiminnan tulosta. Se on tilannesidonnaista, kontekstuaalista eli asiayhteyteen sidottua ja vuorovaikutuksen tulosta. Itseohjautuvuus, minän kasvu ja itsereflektiiviset valmiudet ovat mahdollisia ihmislajin yksilölle, mutta ne on opittava. Subjektiivisista kokemuksista muodostuu objektiivista tietoa sosiaalisen vuorovaikutuksen ja oppijoiden

keskinäisen yhteistoiminnan kautta. [2]

2 Fysiikan opetuksesta

Opettaminen ja oppiminen ovat kaksi toisiinsa hyvin voimakkaasti liittyvää käsitettä. Onhan oppiminen opettamisen päämäärä. Opettajat kuitenkin törmäävät usein tilanteeseen, jossa opiskelijat eivät opi lähellekään kaikkea sitä asiaa, jonka he yrittävät opiskelijoille opettaa. Kuinka tätä tilannetta voidaan parantaa ja millä tavalla opetusta tulisikin suunnitella. Tutkimusten mukaan opettajat opettavat usein samalla tavalla, jolla heitä on aikanaan opetettu. [3, 4] On kuitenkin mahdotonta, että opetettavien opiskelijoiden oppiminen tapahtuisi samalla tavalla, kuin opettajan oppiminen aikanaan tapahtui - onhan jokainen erilainen oppija. Voidaankin siis kyseenalaistaa sitä, onko opetustyylin kopioiminen omalta opettajalta oikea ratkaisu, vaikka hänen opetustyykinsä olisikin omalla kohdalla tuottanut hyviä oppimistuloksia. Opetuksen tutkiminen on johtanut opetustyylien luokitteluun kolmeen eri alaryhmään. [5, 6]

1) Sisältöjohtoinen opetus.

Tässä opetustyyliässä kurssin aikataulu on tiukka ja opettajalta sekä opiskelijoilta vaadittavan suorituksen määrittää jokin ulkopuolinen taho sanelemalla sen, mitä on opetettava tietyssä ajassa.

2) Opettajajohtoinen opetus,

jossa opettaja toimii ikäänkuin tiedonlähteenä ja auktoriteettinä, joka on tapahtumien keskipiste. Opiskelija on passiivinen vastaanottaja, joka kuuntelee ja poimii taitojensa mukaan oleellisen tiedon opettajan esityksestä.

3) Opiskelijajohtoinen opetus,

jossa opetus keskittyy opiskelijoihin ja heidän kognitiiviseen kehitykseensä. Opettajan roolina on auttaa opiskelijaa tiedon kehittämisessä, ohjata ajatusta ja tarjota tarvittavia eväitä oppimisen kehittämiseen. Opiskelutilanne keskittyy luokkahuo-

neen tapahtumiin ja tekoihin, sekä tehtäviin suorituksiin, jossa opiskelija pääsee itse käsittelemään tietoa. Tällöin opiskelijat luovat itse omat käsitteelliset tai kognitiiviset mallinsa. Opetustyyli pyrkii siis hyödyntämään konstruktivisia oppimisrakenteita vaikuttamalla opiskelijoiden asenteisiin, arvoihin, uskomuksiin ja motivaatioon.

Vaikka on olemassa useita tapoja opettaa tehokkaasti, on opettajan joka tapauksessa tiedettävä, mitä hän opettaa, miten hän opettaa opetettavan asian tehokkaasti ja ennen kaikkea sen, kuinka opiskelijat oppivat. On mahdotonta sanoa yksiselitteisesti sitä, mikä on opiskelijoille paras tapa opettaa. Kaikilla opetustyyeillä voidaan saavuttaa samat oppimistulokset. Tutkimuksen mukaan kuitenkin opiskelijalähtöisesti opetettujen opiskelijoiden on havaittu osaavan siirtää taitavammin oppimansa asiat toiseen tilanteeseen, omaavan paremmat ongelmanratkaisutaidot ja heillä on havaittu parempaa motivaatiota opiskella lisää. [7] Aktiivinen osallistuminen opetukseen vaikuttaisikin siis auttavan opiskelijoita luomaan suuremman kuvan opiskeltavasta asiasta, johon liittyvää osaamistaan ja tietoaan he käsittelevät. Vaikuttaisikin siis siltä, että fysiikan opetuksessa opiskelijoiden aktiivisiksi osallistujiksi saaminen olisi vahvin lähtökohta opiskelijoiden laaja-alaiselle fysiikan osaamiselle.

3 Opetustyylin valinta

Fysiikan opetusta suunniteltaessa on lähdettävä liikkeelle opetustyylin valinnasta. Mitä edellä mainituista opetustyyleistä halutaan käyttää, mitä etuja milläkin opetustyyllillä on ja mitkä ovat kurssin tavoitteet. Onko tarkoituksena saada opetettua kaikille opiskelijoille jokin tietty tieto/ taito vai onko tavoitteena ennemminkin tietojen ja taitojen siirtäminen johonkin muuhun tilanteeseen. Samalla kurssilla voi olla osallistujia hyvin monesta erilaisesta lähtökohasta ja ennen kaikkea hyvin erilaisin tavoittein. Useilla fysiikan kursseilla aina peruskoulusta yliopistoon määrää oppisisältö aikataulun, jolla opiskelua tulee tehdä. Useat sukupolvet ovat tottuneet kursseihin, joissa on opeteltava tietyt kaavat ja määritelmät ulkoa ja fysiikan eri

osa-alueet vaikuttavat koostuvan vain useista hajanaisista tiedon palasista. Erityisesti aikatauluihin sidottu opetus johtaa helposti tilanteeseen, jossa opettaja juurikin kertoo opiskelijoille tarvittavat käsitteet ja kaavat, jotka tulee sitten koetilanteessa muistaa ulkoa. Kuitenkin tutkimustulosten mukaan parhaisiin tuloksiin opiskelussa johtaa mahdollisimman aktiiviset opiskelutilanteet, joissa opiskelijat ovat aktiivisia tekijöitä. [8] Muita opetusta suunniteltaessa huomioitavia tekijöitä ovat: opettajan omat taidot ja tiedot eri opetusmenetelmistä, tiedot opiskelijoiden opiskelutaidoista, käytettävissä oleva aika, tilat ja resurssit ja tarvittava mahdollinen lisätuki. On myös huomioitava, etteivät opiskelijat tule kurssille niinsanottuina "tyhjinä tauluina", vaan jokaisella heillä on olemassa jo omat ennakkokäsityksensä ja ymmärryksensä fysikaalisista ilmiöistä.

Vaikka ei ole olemassa yhtä tiettyä tehokkainta tapaa opetuksen järjestämiselle tietylle ryhmälle, voidaan pohtia erilaisia vaihtoehtoja, joilla aktiivista opiskelua voidaan järjestää. Pohdittaessa tehokasta tapaa järjestää mahdollisimman opiskelijäläheinen tapa tutustua ja opiskella vaihtovirtaa, käytän menetelmän pohtimisen pohjana seuraavia olemassaolevia opetustyyplejä.

3.1 Flipped learning

Käänteinen oppiminen, flipped learning, on toinen yksilöllisen oppimisen mallissa hyödynnettävä opetustyyli. Perusidea käänteisessä oppimisessä on, että uuteen asiaan tutustutaan jo kotona ennakkoon, ja luokkatilanteessa oppilaille jää enemmän aikaa uuden asian syventämiselle ja harjoittelulle. Tässä tyyliässä hyödynnetään usein tieto- ja viestintäteknologiaa. Teorian opetus tapahtuu esimerkiksi opetusvideoilla. Vaikka videoita käytetäänkin paljon, ei käänteisen oppimisen itse tarkoitus ole korostaa teknologian käyttöä opetuksessa itse teknologian takia. [9, 10] Yksilöllisen oppimisen kannalta flipped learning antaa yksilöille mahdollisuuden tutustua teoriaan kotona, koulussa, koulumatkalla tai missä hän onkaan.

3.2 Mastery learning

Eräs yksilöllisen oppimisen mallin hyödyntämä menetelmä on nimeltään mastery learning. Sen perusidea on, että oppilas opettelee ensin yhden osa-alueen opiskelutavasta ainekokonaisuudesta siten, että hallitsee sen hyvin ja siirtyy vasta sen jälkeen seuraavaan. Sillä on havaittu saatavan miltei yhtä hyviä oppimistuloksia kuin henkilökohtaisen opettajuuden menetelmällä. [11] Tehokkuutensa, monipuolisen soveltuvuutensa ja lupaavien tuloksiensa ansiosta mastery learning -menetelmää hyödynnetään yksilöllisen oppimisen mallin perusrakenteessa. Sitä on sovellettu opiskelutavien kokonaisuuksien pilkkomisena ja osaamisen tarkistuksena ennen siirtymistä seuraavaan osioon.

Mastery learning -menetelmä pohjautuu vahvasti muistin rakenteeseen. Muisti ajatellaan usein vain tietoiseksi ajatteluksi niistä ajatuksista ja kokemuksista, joita olemme elämämme aikana kokeneet. Oppimisen kannalta muisti on kuitenkin paljon laajempi kokonaisuus, jonka ymmärtäminen on oleellista suunniteltaessa ja tuotettaessa oppimateriaalia. Käsittelimämme asiat ja kokemukset muokkaavat muistiamme ja luovat niinsanottuja muistijälkiä. Nämä muistijäljet eivät ole tietoisissa paikoissa aivoja, vaan useat aivojen osat toimivat yhdessä erilaisina verkostoina, kun haemme aiemmin oppimaamme tietoa tai kokemiaamme kokemuksia.

Opiskelua ajateltaessa muisti voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan: sensoriseen muistiin, työmuistiin ja pitkäkestoiseen muistiin. [12] Nämä kolme osaa toimivat yhdessä opiskellessamme uutta asiaa. Sensorinen muisti ohjaa ärsykeitä työmuistille, joka prosessoi tietoa ja suodattaa sitä kohti pitkäkestoista muistia. Työmuisti toimii kuitenkin kumpaankin suuntaan ja se hakeekin pitkäkestoisesta muistista vanhoja muistijälkiä, joita se yhdistää ja hyödyntää prosessoidessaan sensorisesta muistista saapuvia ärsykeitä.

Tarkkaavaisuutemme ohjaa sitä, minkä informaation sensorinen muistimme ohjaa työmuistille. Tämä on oleellista myöhemmin mietittäessä hyvää tutoriaalia. Työ-

muisti kykenee puolestaan käsittelemään kerrallaan vain noin kolmesta viiteen erilaista mieltämysyksikköä. Kuitenkin pitkäkestoisen muistin rakenteiden avulla tätä mieltämysyksiköiden määrää voidaan lisätä ja yksilö pystyy käsittelemään suurempia kokonaisuuksia. Työmuistissa tieto säilyy vain joitakin sekunteja, ellei tietoa tietoisesti ylläpidetä yhdistämällä sitä vanhoihin opittuihin kokonaisuuksiin. Vanhat, pitkäkestoisessa muistissa olevat, kokonaisuudet säilyvät muistissamme vuosista vuosikymmeniin. Mastery learning -menetelmän sekä tutoriaalien kannalta tämä tarkoittaa sitä, että tietyt asiat perustuvat vanhoihin opittuihin kokonaisuuksiin, sekä niiden tärkeimpiin yksityiskohtiin. Vanha tieto on osattava ja siis oltava pitkäkestoisessa muistissa olemassa, jotta siihen voidaan tehokkaasti yhdistää uutta tietoa ja lopulta onnistutaan luomaan suuria kokonaisuuksia, joita sitten voimme pitkäkestoisesta muististamme tuoda työmuistille käsiteltäväksi. Toisin sanoen uusi asia, jonka teoria pohjautuu vanhaan asiaan, voidaan teoriassa oppia "ulkoa", mutta tällainen oppiminen on lyhytkestoista. Tehokkain tapa onkin siis vanhoihin jo opittuihin kokonaisuuksiin yhdistäminen. Toisin sanoen assimilaation ja akkomodaation sekoitus.

3.3 Aktiivinen luokkahuone

Randall D. Knight esittelee teoksessaan näkemyksensä siitä, mikä fysiikan opiskelussa, tai ennemminkin fysiikan opetuksessa, tuottaa vaikeuksia opiskelijoille. [13] Hän ei koe vanhan mallisia luentotilaisuuksia aktiivisina oppimistilanteina, joissa opiskelijat oppisivat tehokkaasti. Ratkaisuna aktiivisen luentotilaisuuden luomiseen hän ehdottaa viittä helppoa askelta, joiden suuntaan fysiikan opetusta viemällä, voidaan fysiikan opetusta tehostaa ja tällä tavalla myös parantaa fysiikan oppimistuloksia. Kuten jo aiemmin todettu, myös Knight näkee perinteisen luennoinnin tehottomana tapana opettaa riippumatta siitä, kuka opettajana toimii. Knight jakaakin opetuksen viiteen osa-alueeseen. Osa-alueiden ideana on tutustuttaa opiskelijat ennakkoon

luennoilla käsiteltävään aiheeseen, murtaa ja muokata jo aiemmin olemassa olevia mielikuvia ja ajatuksia, herättää keskustelua luentojen aikana, kiinnittää ymmärrys matemaattisten yhtälöiden käsittelyn sijasta itse fysikaaliseen ilmiöön sekä harjoitella myös tehtävänratkaisun mallia, ei pelkästään tehtävien matemaattista ratkaisemista.

Tarkoitus on siis luoda mahdollisimman aktiivinen oppimisympäristö ja oppimistilanne vanhan passiivisen luennontimallin tilalle, jossa luennoitsija poimii oppikirjasta opiskelijoille valmiiksi sen oleellisen asian, jonka hän aikoo tentissä tai kokeessa opiskelijoilta kysyä. Myös voimakkaasti vallalla olevaan yksipuoliseen matemaattiseen ja yhtälönratkaisupohjaiseen tarkastelemiseen pyritään saamaan muutosta. Opiskelijan olisi tärkeämpää ymmärtää itse fysikaalinen ilmiö ja siihen vaikuttavat tekijät, osata lukea, muodostaa ja tulkita fysikaalisia kuvaajia. Aktiivisessa oppimistilanteessa opiskelijat käyttävät suurimman osan ajastaan aktiivisesti tehden, ajatellen tai jutellen fysiikasta, eivätkä vain kuuntele opettajan puhuvan fysiikasta. Samoin opiskelijat vuorovaikuttavat toinen toistensa kanssa, jolloin vahvemmat opiskelijat voivat auttaa heikompia opiskelijoita omaa osaamistaan samalla vahvistaen. Opettaja toimii tilanteessa keskustelun ohjaajana ennemmin kuin vahvana auktoriteettina. Opiskelijoille ja heidän ajatuksilleen on tärkeää tarjota mahdollisimman välitön palaute, jotta virhekäsityksiltä voitaisiin välttyä. Lisäksi opiskelijoita pyritään ohjaamaan ottamaan kasvavassa määrin vastuuta omasta opiskelustaan.

Knightin esittelemät viisi askelta kohti aktiivista opiskeluympäristöä ovat:

- 1) Pidä opiskelijat aktiivisina ja tarjoa välitöntä palautetta.
- 2) Keskity ilmiöihin ennemmin kuin abstrahointiin.
- 3) Käsittele huolellisesti opiskelijoiden vaihtoehtoiset mielikuvat.

4) Opetä ja käytä huolellisesti tehtävänratkaisumenetelmiä ja -taitoja.

5) Kirjoita kotitehtävät ja koekysymykset siten, että ne menevät yhtälönratkaisua syvemmälle. Tällöin luot opiskelijoille kvalitatiivista ja käsitteellistä analysointia fysikaalisista ilmiöistä.

3.4 Motivaatio oppimistilanteessa

Luokkatilanteessa oppimiseen vaikuttavat monet tekijät. Oppiminen riippuu oppijan aiemmin rakentuneesta tiedosta, motivaatiosta sekä oppimis- ja työskentelytavoista. Aiemmin rakennettu tieto on kehittynyt oppilaalle aiemmista oppimiskokemuksista. Tämän vuoksi opettaja ei kykene suoraan luokkatilanteessa vaikuttamaan oppilaan aiempiin tietoihin millään tavalla. On siis keskityttävä oppimistilanteen kehittämiseen oppilaan kannalta myönteisempään suuntaan. Erityisesti on tärkeää huomioida oppilaan motivaatio ja asennoituminen opetettavaan aineeseen. Kun oppilas on motivoitunut, hän kykenee keskittymään aiheeseen ja saa suunnattua ajatuksensa oppimistilanteeseen. Tällöin hän tietää, että oppimistilanteella on päämäärä, joka palvelee hänen tarkoituksiaan. Motivoitunut oppilas oppii paremmin kuin ilman motivaatiota opiskeleva. [14] Oppilaiden motivaatioon vaikuttaminen on tärkeä osa opettajan roolia. Motivaation kehitys tapahtuu usein vuorovaikutuksessa opettajan ja opiskelutovereiden kanssa. Jo pelkästään opettajan positiivinen asennoituminen opetustilanteeseen ja halu saada oppilaille hyvä oppimisympäristö voimistavat oppilaiden opiskelumotivaatiota. [15] Luokkatilanteessa käytettävät opetustyyli- ja menetelmät vaikuttavat opettajan omaan asennoitumiseen ja sitä kautta oppilaiden motivaatioon. Tämä positiivinen vaikutus motivaatioon konkretisoituu erityisesti käytettäessä oppimistyyliä, jotka osallistavat oppilaita. Vuonna 2004 ilmestyneessä tutkimuksessaan,

Cooperative learning and peer orientation effects on motivation and achievement, D. Hancock mainitsee oppilaiden keskinäisten kanssakäymisten lisäävän heidän motivaatiotaan opiskeltavaa ainetta kohtaan ja siten parantavan heidän oppimistuloksiaan. Motivaatiolla on siis suuri merkitys oppimiselle.

3.5 Tämä työ

Uuden 2016 voimaan tulevan opetussuunnitelman mukaisesti lukiossa tulee fysiikan osuus vähenemään. Tämä tulee tarkoittamaan sitä, että sähkömagnetismin osuus ja tätä kautta myös vaihtovirran opetus jää jopa kokonaan pois lukiosta. Kuitenkin arkipäivän elämämme on vahvasti kytköksissä vaihtovirtaan ja sen tarjoamiin mahdollisuuksiin ja sovelluksiin. Vaihtovirta on yksi fysiikan alan asiantuntijan perusosa-alueista, jotka hänen voidaan olettaa tuntevan ja hallitsevan. Vaikuttaakin siis siltä, että aloittavalle fysikaalisten tieteiden perustutkinto-opiskelijalle olisi hyvä olla tarjolla lisää materiaalia vaihtovirran perusteiden opiskeluun. Tarkoituksena onkin luoda jokin tehokas ja toimiva apuäline, kuinka opiskelijat tähän ilmiöön tutustutaan.

Puhuttaessa tehokkaasta ja toimivasta opetustyylistä ja -tilanteesta tulee ensimmäisenä vastaan kommentti "luennointi ei ole tehokasta". Kuitenkin Suomessa yhä edelleen usein käytetty opetustyyli on se, että opettaja ensin kertoo, mitä tehdään. Tämän jälkeen oppilaat harjoittelevat omatoimisesti tai opettajan pienellä avustuksella. Ryhmäkokojen ollessa n.20 oppilasta/ opiskelijaa ryhmässä, jää opettajalle alun teoriaosuuden jälkeen noin minuutti aikaa oppilasta kohti. Tämä aika on tutkimusten mukaan tehokasta aikaa, jossa oppilas ja opettajasuhde on vuorovaikutteinen ja tehokkainta oppimista tapahtuu. [11] Tämä tilanne on siis peruskoulussa ja lukiossa. Yliopisto-opiskelussa tilanne voi olla hyvin samankaltainen. Luennoitsija saattaa pitää kaksi tuntia luentoa, jonka jälkeen opiskelijan on osattava matkia ja soveltaa sitä tietoa, joka hänelle luennoilta on mieleen jäänyt. Miksi tämä tilanne

kuitenkaan poikkeaisi millään tavalla aiemmista tutkimuksista. Mikä tekee yliopisto-
luennoinnista tehokkaampaa kuin peruskoulu tai lukioluennoinnista? Tähän yhden
mahdollisen ratkaisutavan tarjoaa teknologia. Luomalla oikeanlaiset materiaalit ja
välineet opiskelijalle on opettajalla mahdollisuus tehdä itsestään lähestulkoon turha.
Teknologiset laitteet pystyvät tarjoamaan opiskelijalle välittömän palautteen heidän
toimintansa pohjalta, toisin kuin opettaja luokkatilanteessa. Teknologiset apuväli-
neet eivät kuitenkaan pysty inhimillisten tunteiden ja eleiden käsittämiseen. Koska
nämä apuvälineet eivät kykene reagoimaan opiskelijan kaikkiin toimiin ja heidän
eteensä tuleviin tilanteisiin ei opettajan täydellinen korvaaminen koneella ole järke-
vä ratkaisu.

Tarkoituksena on siis luoda opetuspaketteja ja harjoitustehtäviä verkkoympäris-
tö Villeen. Näiden tehtävien tarkoituksena on tutustuttaa opiskelijoita vaihtovirtaan
ja - jännitteeseen. Lisäksi niitä voi mahdollisuuksien mukaan käyttää myös myö-
hemmin sähkö- ja magnetismin kurseilla lisämateriaalina. Nämä opetuspaketit
tarjoavat opiskelijalle teoriaa vaihtovirrasta ja vaihtovirtapiireistä, sekä erilaisia de-
monstraatiota ja tehtäviä, joiden avulla opiskelija pääsee perehtymään vaihtovirran
luonteeseen ja ominaisuuksiin. Tehdessään harjoitustehtäviä opiskelija saa välittö-
män palautteen, mikäli ei ole saanut oikeaa ratkaisua työskennellessään. Tällä tavalla
pyritään estämään ja minimoimaan behavioristista oppimista, jossa opetellaan ulkoa
jokin ennalta esitetty tehtävä ja kopioidaan se myöhemmin tenttipaperiin. Pyrkimys
on myös itse vaihtovirtaan tutustuttamisen ja sen opettamisen lisäksi työstää uusien
opiskelijoiden metakognitiivisia ajatuksia, eli ajatuksia omasta oppimisestaan.

Mastery learning menetelmää hyödynnetään rakentamalla opetus- ja tehtävä-
kokonaisuudet sellaisiksi paketeiksi, että opiskelijalla on mahdollisuus edetä hänen
itsensä parhaaksi näkemäänsä tahtiaan. Tällaista menetelmää kuvataan usein ni-
mellä yksilöllisen oppimisen malli. [16] Lisäksi vanhoihin tehtäviin voi palata, mikäli
havaitsee tilanteen, jossa olisikin kaivannut vielä vanhaa tietoa uuden tueksi. Opi-

tuaan siis yhden kokonaisuuden tai asian kunnolla, on opiskelija valmis siirtymään seuraavaan. Tässä samassa yhteydessä hyödynnetään erityisesti flipped learningin puolelta audiovisuaalisuutta. Tämän tarkoituksena on se, että opiskelija voi siis palata asiaan, jota ei aivan täysin ymmärtänyt. Tavallisessa opetustilanteessa ohimevä hetki voi olla hyvinkin ratkaiseva opiskelijan oppimisen kannalta. Esimerkiksi videoihin on opiskelijan kuitenkin helppo palata ja tarvittaessa katsoa sama kohta vaikka viidennen kerran.

Five easy lessons -teokseen perustuvista tunneista pääpaino tässä työssä kohdistuu ensimmäiseen tuntiin. Ensimmäisen oppitunnin aihe on onnistua pitämään opiskelijat aktiivisina ja tarjota välitöntä palautetta. [13] Opiskelijoilla on jokaisella omat näkökulmansa ja ajatukset erilaisista fysiikan ilmiöistä, myös vaihtovirrasta. Opiskelijat saattavat olla hyvinkin arkoja esittämään omia ajatuksiaan julkisesti, koska ajatukset ja päätelmät voivat olla virheellisiä tai kokonaan vääriä ja niiden esittäminen julkisesti saattaisi aiheuttaa entistä enemmän epävarmuutta. Tarjoamalla sähköisiä tehtäviä, joita opiskelija voi tehdä ennen saapumistaan luennolle ohjaavat opiskelijan ajatukset jo oikean asian äärelle. Tehtävissä voidaan esimerkiksi avata tulevia käsitteitä, jotta terminologia olisi luennolle osallistuttaessa jo hallussa. Tällöin myös luennoitsija voi olettaa opiskelijoiden tuntevan tietyt käsitteet ilman, että hänen tarvitsee niitä avata. On kuitenkin huomioitavaa, ettei tietokone voi täysin korvata opettajan roolia oppimisprosessissa, vaan tietokonetta käytetään vain eräänä opiskelun apuvälineenä. [17] Tehtäväpakettien tarkoituksena ei ole opettaa opiskelijalle asiaa aukottomasti ja jättää opiskelijan omalle vastuulle selvittää niitä tietoja, joita hän ei mahdollisesti tehtävistä saanut. Tarkoitus on luoda opettajalle työkalu, jolla hän voi pohjustaa luentojaan tai oppituntejaan, ohjata opiskelijan ajatukset oikean asian pariin, sekä tarvittaessa myös seurata sitä, onko opiskelija tehnyt hänelle annetut ennakkotehtävät.

Vaikka sähköinen oppimisympäristö tarjoaa hyvät puitteet ja edellytykset oppi-

materiaalin luomiselle, on siinä omat heikkoutensa. Sähköinen oppimateriaali sitoutuu tiukasti ennalta rakennettuun tehtävään ja kaikkien mahdollisten ratkaisuvaihtoehtojen läpikäyminen ja luominen on hyvin työlästä tai jopa mahdotonta. Myös sähköisen ympäristön kyky jaksaa pitää opiskelijan mielenkiinto kohdistettuna opiskeltavaan asiaan on kiinni opiskelijan motivaatiosta. Motivaation puuttuessa sähköisiä tehtäviä ehkä vilkaistaan, mutta lopulta ne koetaan merkityksettömiksi ja niitä saatetaan vain kokeilla arvaamalla. Sähköinen ympäristö ei pysty johdattelemaan ajatusta oikeaan suuntaan, jos tehtävää ei ole siten rakennettu. On myöskin mahdollista, että opiskelija kokee sähköiset tehtävät vain jonkinlaisena välietappina tai suorituspisteiden hankintatapana, jolloin hän esimerkiksi kysyy opiskelijatoveriltaan oikeat vastaukset ja täyttää ne ilman omaa osaamista.

Kokonaisuutena on tarkoitus muodostaa kehittämistutkimus [18], jonka pyrkimyksenä on selvittää erilaisten tehtävätyyppien ja tutoriaalimallien soveltuvuutta sähkömagnetismin ja erityisesti vaihtovirran ja vaihtovirtapiirien opetuksessa. Tehtäviä ja niiden kehittämistä pyritään arvoimaan ja kehittämään paremmin opetustavoitteita vastaaviksi ja lopulta ne tarjotaan käytettäväksi ja kehitettäväksi eteenpäin.

4 Vaihtovirrasta

Tässä kappaleessa esitellään lyhyesti se sisältö, joista sähköiset opintomateriaalit tehdään ja joihin ne liittyvät. Käsittely aloitetaan sähkömagneettisesta induktiosta, josta induktiolain kautta siirrytään vaihtovirran syntyyn, luonteeseen, sovelluksiin ja vaihtovirtapiireihin. Lähdemateriaalina ovat olleet seuraavat teokset: [19, 20, 21, 22, 23].

4.1 Sähkömagneettinen induktio

Vuonna 1831 Michael Faraday onnistui synnyttämään sähkövirran suljettuun virtapiiriin magneetin avulla. Hänen havaintonsa mukaan muuttuvassa magneettikentässä oleva käämi synnytti virtapiiriin sähkövirran. Tätä ilmiötä kutsutaan sittemmin sähkömagneettiseksi induktioksi.

Työnnettäessä sauvamagneettia johdinsilmukan läpi edestakaisin havaitaan johdinsilmukassa sähkövirta. Tämä havaittu sähkövirta loppuu kuitenkin aina magneetin pysähtyessä. Muita tärkeitä havaintoja ovat havainnot siitä, että sähkövirran suunta muuttuu sauvamagneetin liikkeen suunnan muuttuessa ja mitä nopeampaa liikettä johdinsilmukan sisällä tekee, sitä suurempi on havaittu sähkövirta. Muita tapoja lisätä syntyvän sähkövirran suuruutta on lisätä silmukkaan kierroksia tai käyttää voimakkaampaa sauvamagneettia. Kaikenkaikkiaan voidaan siis todeta muuttuvan magneettikentän synnyttävän johtimeen induktiojännitteen. Jos johtimen navat yhdistetään, syntyy johtimeen induktiovirta.

4.1.1 Lenzin laki

Edellä kuvattu sähkömagneettinen induktio noudattaa niinsanottua Lenzin lakia. Saksalaissyntyinen fyysikko Emil Lenz esitti nimeään kantavan lain induktioilmiöstä. Sen mukaan syntyvän sähkövirran suunta on aina sellainen, että sen vaikutus pyrkii vastustamaan sitä muutosta, joka induktion aiheuttaa. Toisin sanoen syntyvän sähkövirran suunta on sellainen, että sen muodostama magneettikenttä pyrkii kumoamaan ulkoisen magneettikentän muutokset.

4.2 Induktiolaki

4.2.1 Magneettikentässä liikkuva johdoin

Magneettikentässä liikkuvaan johtimeen syntyy induktiojännite. Tämä syntyvä jännite on siis sitä suurempi mitä nopeammin johdin liikkuu kohtisuoraan kenttäviivoja

vastaan.

Aloitetaan tarkastelu yksinkertaisella tilanteella, jossa metallisauva liikkuu homogeenisessa magneettikentässä. Liikutettaessa sauvaa tasaisesti pitkin yhdensuuntaisia johdinkiskoja ja mitataan kiskojen välille muodostuva jännite. Mikäli sauva, kiskot ja kenttä ovat kuvan toisiaan kohtisuorassa, havaitaan että mitattava induktiojännite E on verrannollinen kiskojen välimatkaan L , sauvan nopeuteen v ja kentän magneettivuon tiheyteen B

Magneettivuon B tiheys voidaan ajatella magneetin kohtioiden väliin kuviteltujen kenttäviivojen tiheytenä. Tämä tiheys riippuu paitsi magneettikentästä, myös väliaineen permeabiliteetista, eli laadusta. Tässä tapauksessa rajoituaan tilanteeseen, jossa väliaineena on ilma.

Magneettikentässä liikkuvaan johdinsauvaan indusiotuu lähdejännite

$$E = LvB \quad (1)$$

jossa siis L on sauvan pituus, v sauvan nopeus ja B magneettivuon tiheys.

4.2.2 Faradayn ja Henryn lait

Edellä esitetty tapaus koskee vain hyvin yksinkertaista tilannetta, jossa suora johdin liikkuu kohtisuorasti vakionopeudella. Tarkasteltaessa tilannetta yleisesti, on käytettävä uutta suuretta; silmukan läpäisevä magneettivuo $\Phi = AB$ Tällöin sauvan liikuessa nopeudella $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ muuttuu sauvan liikkeen "piirtämä" pinta-ala A nopeudella: $\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{L\Delta x}{\Delta t} = Lv$ Täten indusoituneen lähdejännitteen lauseke saa muodon:

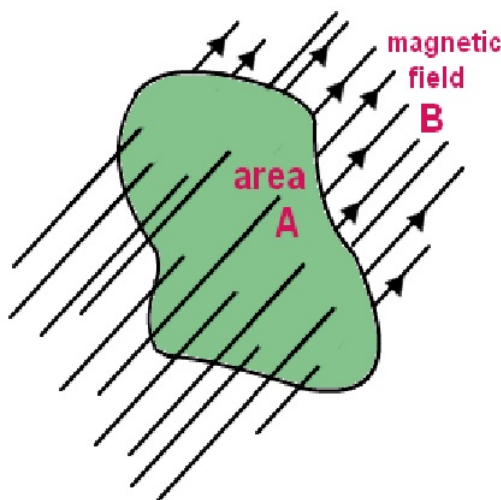
$$E = LvB = \frac{\Delta AB}{\Delta t} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Magneettivuo Φ kuvaa kenttäviivojen lukumäärää jonkin tietyn pinnan läpi. Kuvassa 1 on esitettyä esimerkki magneettivuosta. Matemaattisesti tämä tarkoittaa pintaintegraalia magneettivuon tiheydestä B .

$$\Phi = \int_A B dA \quad (2)$$

Käytännössä siis A on silmukan kenttää vastaan kohtisuora pinta-ala ja B kentän magneettivuon tiheys.

SI-järjestelmässä magneettivuon yksikkö on 1 weber eli 1Wb.



Kuva 1; Magneettivuo.[24]

Yleinen induktiolaki muodostuu magneettivuon Φ muutoksesta ajassa. Kun johdinsilmukan läpäisevä magneettivuo Φ muuttuu, indusoituu silmukkaan yhtä suuri, mutta vastakkaismerkkinen lähdejännite, E , kuin mitä magneettivuon muuttumisnopeus on. Siis:

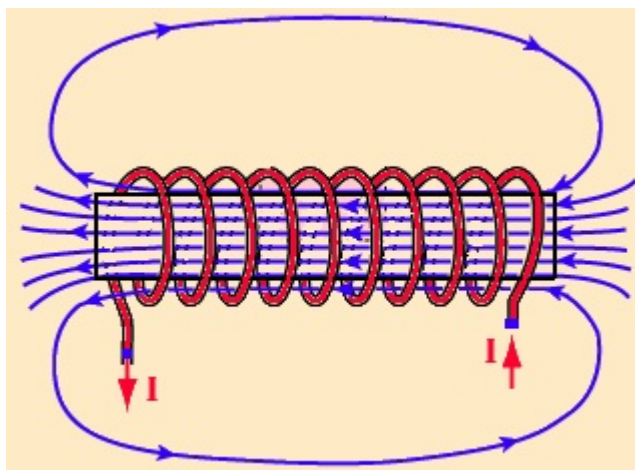
$$E = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (3)$$

Tässä muodossa kirjoitettu induktiolaki tunnetaan Faradayn ja Henryn lakina. Tämä laki koskee kaikkia magneettisen induktion muotoja riippumatta siitä, mistä magneettivuon muuttuminen johtuu.

Luotaessa esimerkiksi vaihtojännitettä generaattorilla, käytetään yhden silmukan sijasta kuitenkin käämiä, jolloin jokaiseen silmukkaan indusoituu induktiolain mukainen jännite. Käämiin, jossa on N kierrosta, indusoituva jännite on:

$$E = -N \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (4)$$

Kuvassa 2 on esitettynä oikean käden säännön periaate. Lähdejännitteen etumerkki ja sähkövirran suunta saadaan pääteltyä tämän oikean käden säännön mukaan. Oikean käden peukalo näyttää silmukan läpäisevän positiivisen läpäisysuunnan, kun taas muut sormet osoittavat syntyvän positiivisen kiertosuunnan, eli sähkövirran kulkusuunnan käämissä.



Kuva 2; Oikean käden sääntö. [25]

4.2.3 Itseinduktio

Johtimessa kulkeva sähkövirta aiheuttaa ympärilleen magneettikentän. Jos johdin on kierretty rullalle puhutaan **käämistä**. Käämin useat kierrokset tehostavat syn-

tyvää magneettikenttää. Jos käämissä oleva sähkövirta muuttuu, muuttuu myös magneettikenttä, jonka tämä virta muodostaa. Tämä muuttuva magneettikenttä taas aiheuttaa käämin napojen välille uuden induktiojännitteen. Tämä muodostuva lähdejännite aiheuttaa virtapiirissä sähkövirran, joka Lenzin lain mukaisesti vastustaa magneettivuon muutosta. Tätä ilmiötä kutsutaan **itseinduktioksi**. Itseinduktion takia sähkövirta ei saavuta heti huippuarvoaan virtapiirissä, vaan sähkövirran suuruus muuttuu eksponentiaalisesti. Käämin ympärillä olevan magneettikentän magneettivuon tiheys riippuu käämissä kulkevasta sähkövirrasta. Siispä magneettivuon tiheyden muutos riippuu sähkövirran muutoksesta. Tämä tarkoittaa sitä, että indusoitunut lähdejännite riippuu käämin sähkövirran muutosnopeudesta. Lähdejännitteen suuruuteen vaikuttaa myös käämin geometria ja sitä ympäröivä materiaali. Jokaiselle käämille ominaista kykyä vastustaa sähkövirran muutosta kutsutaan **induktanssiksi**. Mitä suurempi käämin induktanssi on sitä voimakkaamman itseinduktion se aiheuttaa.

Itseinduktiojännite:

$$e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

L = Virtapiirin induktanssi

Δi = sähkövirran muutos virtapiirissä

Δt = ajan muutos

Lenzin lain mukaisesti itseinduktio tasoittaa virtapiirissä tapahtuvia sähkövirran muutoksia. Sähkövirran kasvaessa itseinduktio tuottaa induktiojännitteen, joka vastustaa sähkövirran kasvua. Vastaavasti sähkövirran pienentyessä indusoituva jännite pyrkii kasvattamaan sähkövirran suuruutta. Voidaankin siis aatella käämin toimivan sähkövirran suurentuessa vastuksen tavoin ja sähkövirran pienentyessä jänniteläh-

teen tavoin. Jokaisen johtimen ympärille muodostuu magneettikenttä, kun sähkövirta kytketään päälle. Täten jokaisessa virtapiirissä tapahtuu, ainakin jonkin verran, itseinduktiota. Tämä itseinduktio aiheuttaa sen, että sätkövirta ei heti päällekytkettyään saavuta huippurvoaan, samoin kuin sähkövirran katkaiseminen ei välittömästi hävitä sähkövirtaa.

Käämiä voidaan käyttää virtapiirissä kahdella tavalla. Se voidaan asettaa joko suojaamaan muita komponentteja äkillisiltä virtapiikeiltä. Vaihtoehtoisesti sen avulla voidaan luoda hetkellisiä suuria jännitteitä joista voi aiheutua jopa läpilyöntejä ilmaan.

4.2.4 Generaattori

Aiemmissa kappaleissa on kerrottu sähkömagneettisesta induktiosta, sekä sen synnystä ja ominaisuuksista. Sähkömagneettisen induktion kenties yhteiskunnan kannalta merkittävin yksittäinen sovellus on **generaattori**. Generaattorissa sähkömagneettinen induktio tuotetaan pyörittämällä suurikokoista käämiä magneettikentässä. Tällä tavalla induktion tarvitseva muuttuva magneettivuo saadaan synnytettyä. Koska käämi pyörii, vaihtelee muuttuvan magneettivuon suunta. Tämän seurauksena myös sähkövirran suunta muuttuu jaksottaisesti. Generaattorin avulla syntyvää jännitettä kutsutaan **vaihtojännitteeksi**.

Muuttuva magneettikenttä indusoi tunnetusti johtimeen sähkövirran. Lenzin lain mukaisesti tämä syntyvä sähkövirta on sen suuntainen, että se pyrkii vastustamaan kentän muutosta. Tästä sovelluksena käytetään generaattoreissa johdinsilmukkaa, jota jokin ulkoinen voima pyörittää U-magneetin sisällä. Pyöritettäessä johdinsilmukkaa magneetin sisällä magneettivuo Φ johdinsilmukan läpi muuttuu, indusoiden jännitteen silmukan päiden välille. Johtimeen indusoituu sähkövirta, jonka suunta

ja suuruus riippuu siitä, missä asennossa silmukka U-magneettiin nähden on. Virtuaalisesti induktiota ja vaihtojännitteen muodostumista pääsee testaamaan PhET materiaaleista generaattori -simulaatiolla.

Tutkittaessa magneettivuota ajan funktiona, pinta-alaltaan A , kulmanopeudella ω pyörivälle silmukalle, voimme todeta magneettivuon olevan muotoa: $\Phi = AB \cos \alpha$, jossa $\alpha = \omega t$. Siispä magneettivuo ajan funktiona saa muodon:

$$\Phi(t) = AB \cos \omega t \quad (5)$$

Luotaessa vaihtojännitettä generaattorilla, käytetään yhden silmukan sijasta kuitenkin käämiä, jolloin tilanteemme hieman mutkistuu. Käämiin, jossa on N kierrosta, indusoituva jännite on:

$$e = -N \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (6)$$

Tämä tarkoittaa siis magneettivuon aikaderivaattaa kerrottuna $-N$:llä. Sijoittamalla kaavan (5) kaavaan (6) saamme:

$$e = -N \frac{d\Phi(t)}{dt} = -N \frac{d(BA \cos \omega t)}{dt} = -NBA \frac{d(\cos \omega t)}{dt}$$

Käyttämällä nyt yhdistetyn funktion derivaattaa, $D \cos x(t) = -\sin x(t) \cdot x'(t)$ saamme käämiin indusoituvaksi jännitteeksi:

$$e(t) = -NBA \left(-\sin \omega t \frac{d\omega t}{dt} \right) = NBA \omega \sin \omega t \quad (7)$$

Tarkasteltaessa nyt magneettivuon ja indusoituvan jännitteen kuvaajia huomaamme, että jännite e saa **maksimiarvonsa** \hat{e} , kun $\Phi = 0$ ja puolestaan $e = 0$, kun Φ

on maksimissaan.

Koska kulmanopeus ω voidaan esittää kierrostaajuuden f avulla, saamme $e = NBA2\pi f \sin(2\pi ft)$. Tunnetusti (yksikköympyrä, trigonometriset funktiot) sinifunktio voi saada arvoja vain väliltä $[-1,1]$. Tämä tarkoittaa sitä, että huippujännite saadaan, kun $\sin \alpha = 1$. Niinpä huippujännite $\hat{e} = NBA(2\pi ft)$. Induktiojännite voidaan siis kirjoittaa muotoon:

$$e(t) = \hat{e} \sin(2\pi ft) \quad (8)$$

Siispä vaihtojännite $u = \hat{u} \sin(2\pi ft)$, jossa

$$\begin{aligned} \hat{u} &= NBA\omega \\ A &= \text{käämin silmukan pinta-ala} \\ B &= \text{magneettivuon tiheys} \\ N &= \text{käämin kierrosten lukumäärä} \\ f &= \text{vaihtojännitteen taajuus} \\ \omega &= 2\pi f = \text{generaattorin kulmanopeus} \end{aligned}$$

4.3 Vaihtovirta

Kun vaihtovirtageneraattorin päiden välille on muodostunut jännite ja siihen liitetään laite, joka kuormittaa sitä, muodostuu virtapiiriin jaksottain vaihtuva **vaihtovirta**. Tämän vaihtovirran suuruus ja suunta vaihtelee tasaisin jaksoin. Vaikka sähkövirran suuruus muuttuukin, on virran hetkellinen suuruus vaihtovirtapiirissä aina sama koko virtapiirissä.

4.3.1 Tehollinen jännite ja sähkövirta

Vaihtovirtapiirien tapauksessa ei ole kovinkaan mielekästä käsitellä sähkövirran- ja jännitteen hetkellisiä arvoja, koska ne ovat jatkuvassa muutoksessa. Huomattavasti mielekkäämmät suureet ovat **sähkövirran ja -jännitteen teholliset arvot**. Säh-

kövirran ja -jännitteen teholliset arvot määritellään seuraavasti:

Vaihtovirran tehollinen arvo on yhtä suuri, kuin sellaisen tasavirran arvo, joka tuottaa kuormaan yhtä suuren tehon, kuin kyseinen vaihtovirta.

Vaihtojännitteen tehollinen arvo on se tasajännitteen arvo, joka tuottaa kuormaan yhtä suuren tehon kuin kyseinen vaihtojännite.

Teholliset arvot on nyt johdettava tunnetuista kaavoista Ohmin ja Joulen lakien mukaisesti: $U = RI$ ja $P = UI$ eli $P = UI^2$.

Sinimuotoisen vaihtovirran ja vaihtojännitteen teholliset- ja huippuarvot ovat yhtedessä toisiinsa:

$$U_{eff} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{eff} = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$$

Jossa:

U_{eff} = Vaihtojännitteen tehollinen arvo

I_{eff} = Vaihtovirran tehollinen arvo

\hat{u} = Vaihtojännitteen huippuarvo

\hat{i} = Vaihtovirran huippuarvo

4.3.2 Vaihtovirtapiiri ja komponentit

Vaihtovirtageneraattorin päiden välille indusoituvaa jännitettä kutsutaan lähdejännitteeksi; $e = \hat{e} \sin \omega t$. Kun virtapiiriin kytketään erilaisia komponentteja, yleensä vastuksia, käämejä tai kondensaattoreita siirrytään puhumaan niinsanotusta **napajännitteestä**, $u = \hat{u} \sin \omega t$. Kuten kaavasta voimme päätellä, tämä napajännite

vaihtelee samalla tavalla kuin lähdejännitekin.

4.3.3 Vastus

Kaikkein yksinkertaisimmassa tapauksessa on vaihtovirtapiiriin kytkettynä pelkkä vastus. Tässä tilanteessa voidaan noudattaa Ohmin lakia. Ohmin lain mukaan

$$u = Ri \Leftrightarrow i = \frac{u}{R}$$

Koska jännite u on sinimuotoista saamme:

$$i = \frac{\hat{u} \sin \omega t}{R} = \hat{i} \sin \omega t = \hat{i} \sin 2\pi f t$$

Jossa:

\hat{i} on sähkövirran huippuarvo.

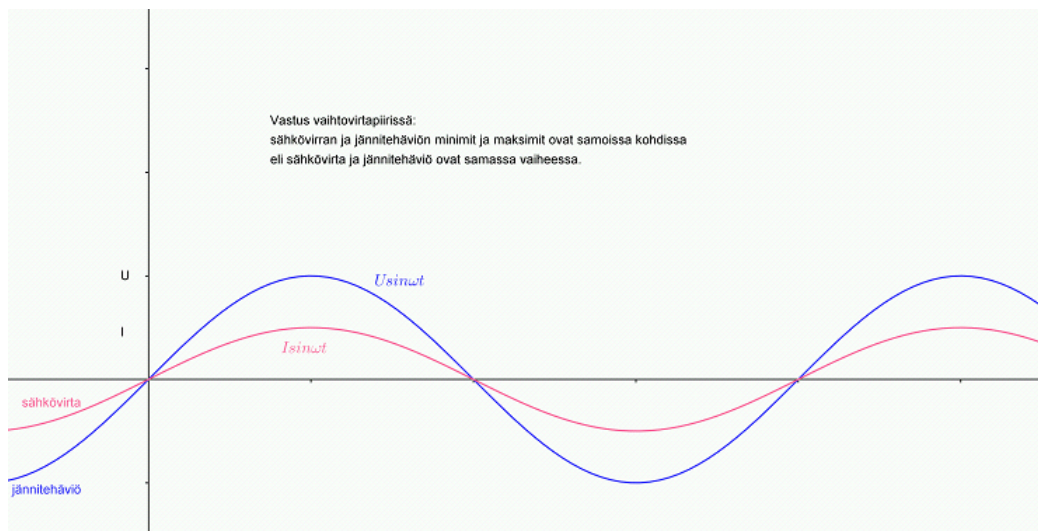
Jännitehäviön ja sähkövirran huippuarvojen välinen yhteys noudattaa Ohmin lakia:

$$\hat{u} = R\hat{i}$$

Vaihtovirtapiirissä, jossa ei ole muita komponentteja kuin vastus, ovat sähkövirta ja jännite **samassa vaiheessa**. Tämä tarkoittaa sitä, että virtapiirin jännitteen maksimiarvo havaitaan samalla hetkellä kuin virtapiirin sähkövirran maksimiarvo.

$$\begin{cases} \hat{i} = \hat{i} \sin \omega t \\ \hat{u} = \hat{u} \sin \omega t \end{cases}$$

Kuvassa 3 on esitettynä sähkövirran ja jännitehäviön vaihe-ero vastuksessa. Huomataan, että vastuksella vaihe-ero $= 0$ eli jännitehäviö ja sähkövirta ovat **samanvaiheiset**.



Kuva 3: Vastuksen sähkövirta ja jännitehäviö vaihtovirtapiirissä

Vaihtovirtapiirit ovat kuitenkin hyvin harvoin näin yksinkertaisia. Tämän takia on syytä käsitellä myös käämin ja kondensaattorin vaikutukset vaihtovirtapiireille.

4.3.4 Käämi

Vaihtovirtapiirissä sähkövirran suunta muuttuu jaksottaisesti. Tämä aiheuttaa vaihtovirtapiirissä olevaan käämiin jaksollisesti muuttuvan magneettikentän. Tällöin käämissä indusoituva virta vaihtelee ja aiheuttaa huomattavasti suuremman rajoituksen sähkövirran kululle, kuin tasavirtapiireissä.

Käämin impedanssi eli **Induktiivinen reaktanssi** on

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

Tässä:

L = Käämin induktanssi ja

f = sähkövirran taajuus.

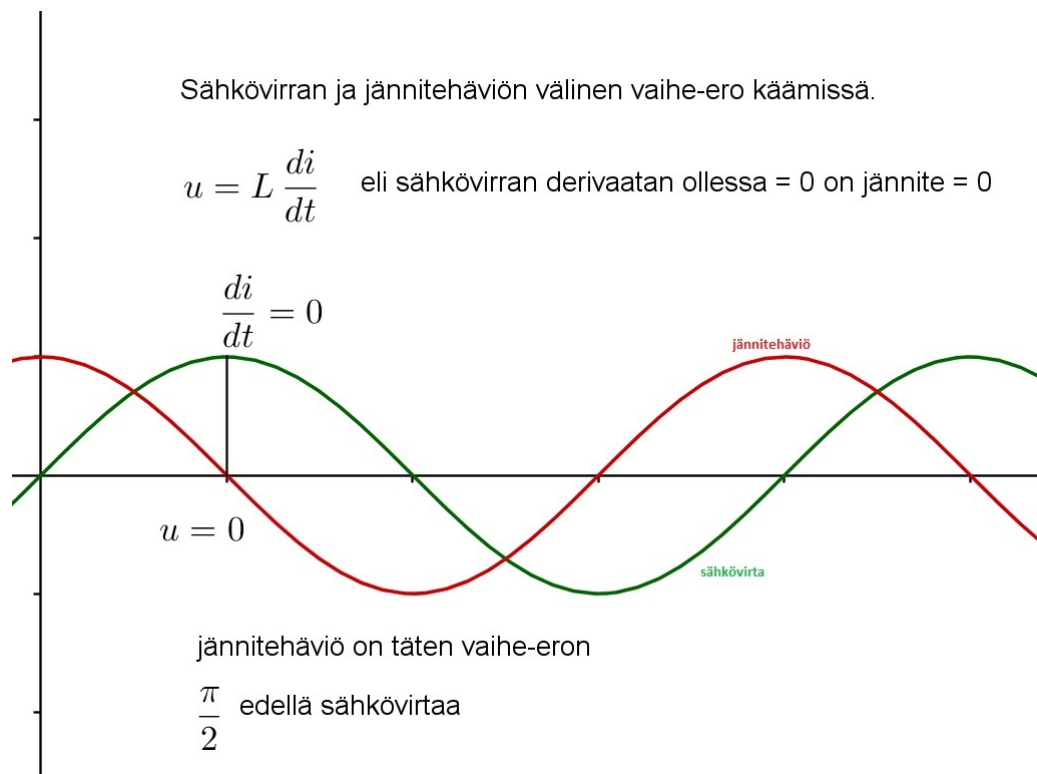
Ideaalisessa käämissä sähkövirran ja jännitehäviön välillä on yhteys:

$$\hat{u} = X_L \hat{i} = \omega L \hat{i}$$

Tällaisessa käämissä jännitehäviö on vaihe-eron $\frac{\pi}{2}$ eli 90° edellä sähkövirtaa. Täten siis hetkellisesti:

$$\begin{cases} i = \hat{i} \sin \omega t \\ u = \hat{u} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

Kuvassa 4 on esitettynä sähkövirran ja jännitehäviön vaihe-ero käämissä. Induktiolain mukaisesti indusoituva jännite on sähkövirran aikaderivaatta. Tutkimalla virran derivaattaa, kuten kuvassa esimerkiksi on, saadaan jännitehäviön kuvaaja.



Kuva 4: Käämin sähkövirta ja jännitehäviö vaihtovirtapiirissä

4.3.5 Kondensaattori

Tasavirtapiirissä oleva kondensaattori latautuu, jonka jälkeen se purkautuu vasta, kun se kytketään johonkin toiseen laitteeseen. Vaihtovirtapiirissä oleva kondensaattori kuitenkin latautuu ja purkautuu jaksottaisesti, riippuen virran kulusta sen läpi.

Kondensaattorin sähkövirran kulkua vastustava impedanssi eli **Kapasitiivinen reaktanssi** on

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

Jossa:

C = Kondensaattorin kapasitanssi ja

f = vaihtovirran taajuus.

Resistanssittomassa virtapiirissä olevan kondensaattorin sähkövirran ja jännitehäviön välillä on yhteys:

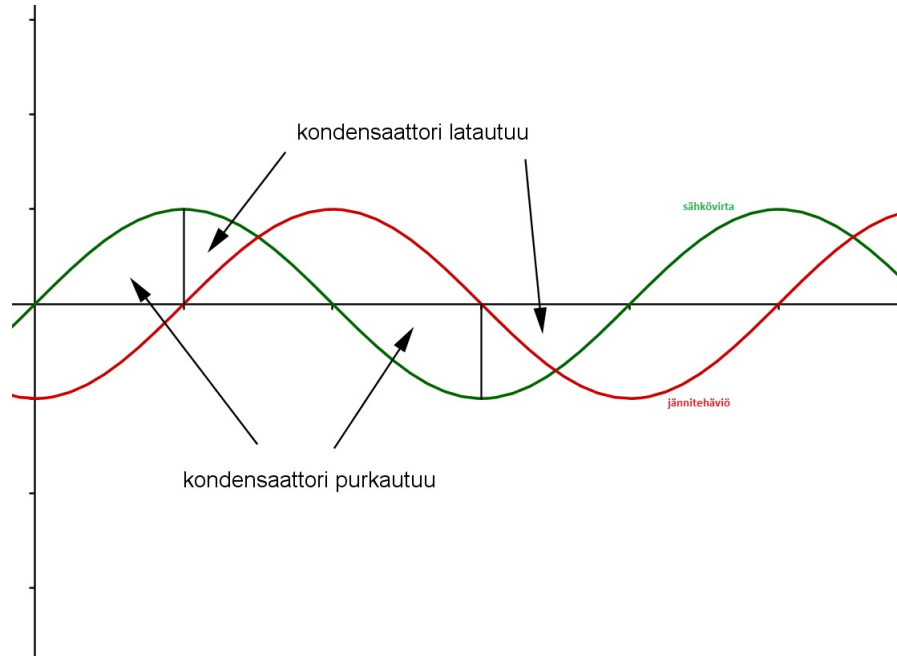
$$\hat{u} = X_C \hat{i} = \frac{1}{\omega C} \hat{i}$$

Sähkövirta kondensaattoripiirissä on lataus- ja purkausvirtaa. Tämä virta on vaihe-eron $\frac{\pi}{2}$ edellä jännitettä. Eli jännitehäviö on saman vaihe-eron verran perässä virtaa

$$\begin{cases} i = \hat{i} \sin \omega t \\ u = \hat{u} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

Kuvassa 5 on esitettynä sähkövirran ja jännitehäviön käyttäytyminen kondensaattorissa. Kondensaattori on aina juuri purkautunut, kun sähkövirta saa suurimman

arvonsa. Tämän jälkeen huippuarvosta aina suunnan muuttumiseen asti kondensaattori latautuu. Sähkövirran suunnan muuttuessa varaus purkautuu ja kierros alkaa taas alusta.



Kuva 5: Kondensaattorin sähkövirta ja jännitehäviö vaihtovirtapiirissä

4.3.6 RCL- piiri

Vaihtovirtapiiriä, jossa on kytkettynä vastuksia, käämejä ja kondensaattoreita kutsutaan **RCL-piireiksi**. Tällaisessa piirissä sähkövirran kulkua rajoittavasta suureesta käytetään nimitystä **impedanssi**, **Z**. Vaihtovirtapiirissä impedanssi on jännitteen ja sähkövirran **tehollisten arvojen** suhde. Yleistetään Ohmin laki vaihtovirtapiirille:

$$Z = \frac{U_{eff}}{I_{eff}}$$

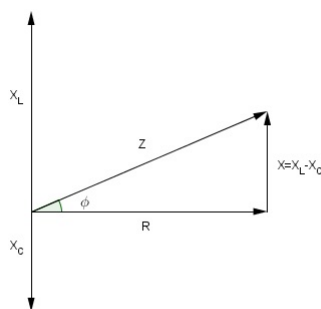
Tässä:

U_{eff} = Tehollinen jännite

I_{eff} = Tehollinen sähkövirta.

RCL- piirin impedanssia laskettaessa on huomioitava kaikkien komponenttien, vastusten, käämien ja kondensaattorien vaikutus sähkövirran vastustamiseen. Piirtämällä osoitindigrammi ja huomioimalla tiedot edellisissä kappaleissa huomataan, että käämissä ja kondensaattorissa tapahtuvat jännitehäviöt ovat vaihe-eroltaan π eli vastakkaisuunntaiset. Tällä perusteella voidaan johtaa laskukaavat impedanssille ja vaihe-erolle.

Kuvassa 6 on esitettyä osoitindigrammi RLC-piirin impedanssista. Kuvassa piirin resistanssi piirretään oikealle. Induktiivinen reaktanssi ylös, koska käämissä jännitehäviö on sähkövirtaa edellä $\frac{\pi}{2}$ rad ja kapasitiivinen reaktanssi alas, koska kondensaattorissa jännitehäviö on sähkövirtaa $\frac{\pi}{2}$ rad perässä.



Kuva 6: Impedanssin määrittäminen osoitindigrammilla

Laskemalla kokonaisreaktanssi ja käyttämällä Pythagoraan lausetta, saadaan ratkaistua impedanssi Z. Vaihe-ero ϕ on resistanssin ja impedanssin välinen kulma, koska vastuksessa itsessään ei tapahdu vaihesiirtoa, vaan vaihesiirron aiheuttaa reaktanssi.

RCL- piirin impedanssi:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Vaihe-ero φ

$$\tan\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Jossa:

R = Resistanssi

$X_L = \omega L$ = Induktiivinen reaktanssi

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ = Kapasitiivinen reaktanssi

4.3.7 Tehonkulutus vaihtovirtapiirissä

Erilaiset vaihtovirtapiireihin kytketyt laitteet muuttavat sähköenergiaa joksikin muuksi energiamuodoksi. Esimerkiksi sähköhammasharjassa sähköenergia muuttuu liikeenergiaksi ja lämmöksi. Laitteessa tapahtuvaa sähköenergian muuttamista kutsutaan termillä **tehonkulutus**. Laitteen tehonkulutus riippuu jännitteestä, sähkövirrasta sekä näiden välisestä vaihe-erosta. Kuten edellä on käsitelty vaihe-ero on riippuvainen reaktanssin ja resistanssin suhteesta. Tämän takia on mielekästä käsitellä eri komponentit erikseen ja yleistää lopuksi tapaukset koko RCL-piirille.

Tehonkulutus vastuksessa

Sähkövirta vastuksessa on:

$$i = \hat{i} \sin \omega t$$

Jännitehäviö taas:

$$u = Ri = R\hat{i} \sin \omega t$$

Joulen lain mukaan $p = ui$ tämä voidaan todeta pitävän paikkansa myös vaihtojännitteen huippuarvoille. Tällöin $\hat{p} = \hat{u}\hat{i}$

Tehonkulutus:

$$\begin{aligned} p &= ui = R\hat{i}\sin\omega t \cdot \hat{i}\sin\omega t \\ &= R\hat{i}^2\sin^2\omega t \end{aligned}$$

Tehonkulutus vaihtovirtapiirissä on jatkuvasti positiivinen (huomaa sinin toinen potenssi) ja takastelemalla sinikäyriä, voimme havaita vastuksen kuluttavan energiaa vaihtovirtapiirissä. Keskimääräinen teho

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2}\hat{p} \\ &= \frac{1}{2}\hat{u}\hat{i} = \frac{1}{2}\sqrt{2}U_{eff} \cdot \sqrt{2}I_{eff} \\ &= U_{eff}I_{eff} = RI_{eff}^2 = \frac{U_{eff}^2}{R} \end{aligned}$$

Tehonkulutus käämissä

Sähkövirta on muotoa:

$$i = \hat{i}\sin\omega t$$

Koska sähkövirta on vaihe-eron $\frac{\pi}{2}$ jännitehäviötä perässä saamme jännitteelle lausekkeen:

$$u = \hat{u}\sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = -\hat{u}\cos\omega t.$$

Sijoitettaessa tehonkulutuksen lausekkeeseen saamme tehonkulutukselle p:

$$p = ui = \hat{u}\cos\omega t \cdot \hat{i}\sin\omega t$$

Kaksinkertaisen kulman trigonometrian kaavalla $2\sin\alpha\cos\alpha = \sin 2\alpha$ lauseke sievenny muotoon:

$$\begin{aligned} p &= \hat{u}\hat{i} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2\sin\omega t\cos\omega t \\ &= \frac{\hat{u}\hat{i}}{2}\sin 2\omega t = \hat{p}\sin 2\omega t \end{aligned}$$

Tutkimalla tällaista sinikäyrää, havaitsemme käyrän saavan vuoron positiivisia, vuoroin negatiivisia arvoja. Keskimäärin tämä tehonkulutus on 0. Tämä tarkoittaa sitä, että ollessaan vaihtovirtapiirissä, jossa ei ole muita komponentteja kytkettynä, käämi ei kuluta energiaa.

Tehonkulutus kondensaattorissa

Sähkövirta on muotoa:

$$i = \hat{i}\sin\omega t$$

Koska sähkövirta on vaihe-eron $\frac{\pi}{2}$ jännitehäviötä edellä saamme jännitteelle lausekkeen:

$$u = \hat{u}\sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = -\hat{u}\cos\omega t.$$

Sijoitettaessa tehonkulutuksen lausekkeeseen saamme tehonkulutukselle p:

$$p = ui = -\hat{u}\cos\omega t \cdot \hat{i}\sin\omega t$$

Kaksinkertaisen kulman trigonometrian kaavalla $2\sin\alpha\cos\alpha = \sin 2\alpha$ lauseke sievenny muotoon:

$$\begin{aligned}
 p &= -\hat{u} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \sin \omega t \cos \omega t \\
 &= -\frac{\hat{u}}{2} \sin 2\omega t = -\hat{p} \sin 2\omega t
 \end{aligned}$$

Tutkimalla tällaista sinikäyrää, havaitsemme käyrän saavan vuoron positiivisia, vuoroin negatiivisia arvoja. Keskimäärin tämä tehonkulutus on 0. Tämä tarkoittaa sitä, että ollessaan vaihtovirtapiirissä, jossa ei ole muita komponentteja kytkettynä, kondensaattori ei kuluta energiaa.

Tehonkulutus RCL-piirissä

Yleistetään lopuksi edellä saadut havainnot koskemaan vaihtovirtapiiriä, jossa on sekä vastus, käämi että kondensaattori. Kuten edellä on havaittu, vaihtovirtapiirissä vain ne komponentit, joilla on resistanssi kuluttavat energiaa. Yleensä tällaisessa virtapiirissä oleva käämi pyritään tekemään resistanssiltaan mahdollisimman pieneksi. Sähkövirran suuruus riippuu kuitenkin myös jännitehäviön ja sähkövirran vaihe-erosta. Täten myös käämi ja kondensaattori vaikuttavat tehonkulutukseen. Virtapiirin impedanssi Z koostuu resistanssista R ja reaktanssista X . Muodostamalla kuvan 7 mukainen osoitindiagrammi, havaitaan, että resistanssi voidaan kirjoittaa muodossa:

$$R = Z \cos \varphi$$

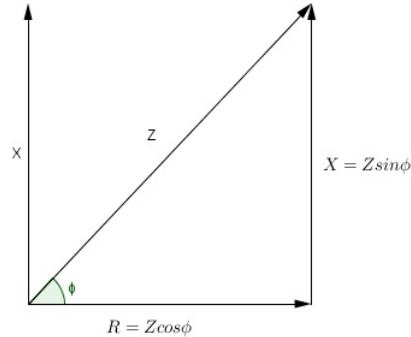
Jossa:

Z = virtapiirin impedanssi

φ = virtapiirin napajännitteen ja sähkövirran välinen vaihe-ero.

Impedanssin yhteys resistanssiin ja reaktanssiin

$Z = \text{impedanssi}$
 $R = \text{resistanssi}$
 $X = \text{reaktanssi}$
 $\phi = \text{vaihe - ero}$



Kuva 7: Osoitindiagrammi impedanssin ja resistanssin yhteydestä

Keskimääräinen tehonkulutus eli **pätöteho** virtapiirissä on täten:

$$P = RI_{eff}^2 = Z \cos \varphi \cdot I_{eff}^2$$

Ohmin lain yleistyksen mukaan $U_{eff} = ZI_{eff}$, joten tehon lausekkeeksi muodostuu:

$$P = U_{eff} I_{eff} \cos \varphi$$

Tekijää $\cos \varphi$ kutsutaan **tehokertoimeksi**.

4.3.8 Sarjaresonanssiipiiri

RLC-sarjapiirissä on kytkettynä sarjaan vastus, käämi ja kondensaattori. Tällaisessa virtapiirissä kulkevan sähkövirran suuruus riippuu piiriin syötetyn vaihtojännitteen taajuudesta. Mitattaessa RLC-piirin tehollista sähkövirtaa eri taajuuden f arvoilla voidaan havaita sähkövirran saavan maksimiarvonsa jollakin tietyllä taajuudella, jonka ulkopuolella virta on aina tätä taajuutta pienempi. Vaihdettaessa virtapiiriin toinen vastus, ei taajuus muutu, mutta kondensaattorin tai käämin vaihtaminen muuttaa taajuutta, jolla virran maksimi havaitaan.

Ohmin lain yleistyksen mukaisesti:

$$U_{eff} = ZI_{eff} \Leftrightarrow I_{eff} = \frac{U_{eff}}{Z}$$

jossa Z on RLC-piirin sähkövirran kulkua vastustava ominaisuus, **impedanssi**.

Impedanssi koostuu resistanssista ja reaktanssista:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Osoitindiagrammin mukaisesti induktiivinen reaktanssi, X_L , ja kapasitiivinen reaktanssi, X_C , ovat vastakkaissuuntaiset. Voidaankin siis todeta impedanssin koostuvan pelkästään resistanssista, kun $X_L = X_C$.

Tällöin siis $X_L - X_C = 0$, jonka seurauksena $Z = R$. Ohmin lain yleistys saakin nyt muodon:

$$I_{eff} = \frac{U_{eff}}{Z} = \frac{U_{eff}}{R}$$

Tällöin sähkövirta saa siis suurimman arvonsa RLC-piirissä ja piirin sanotaan olevan **resonanssissa**. Virtapiirin resonanssitaajuus voidaan ratkaista siis merkitsemällä reaktanssien erotus nolllaksi ja ratkaisemalla resonanssitaajuus f_0 . Kirjoitetaan reaktanssi muodossa

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0, \text{ eli}$$

$$2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} = 0$$

merkitään nyt haettavaa resonanssitaajuutta f_0 :lla ja ratkaistaan se yhtälöstä, jolloin resonanssitaajuudeksi saadaan:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

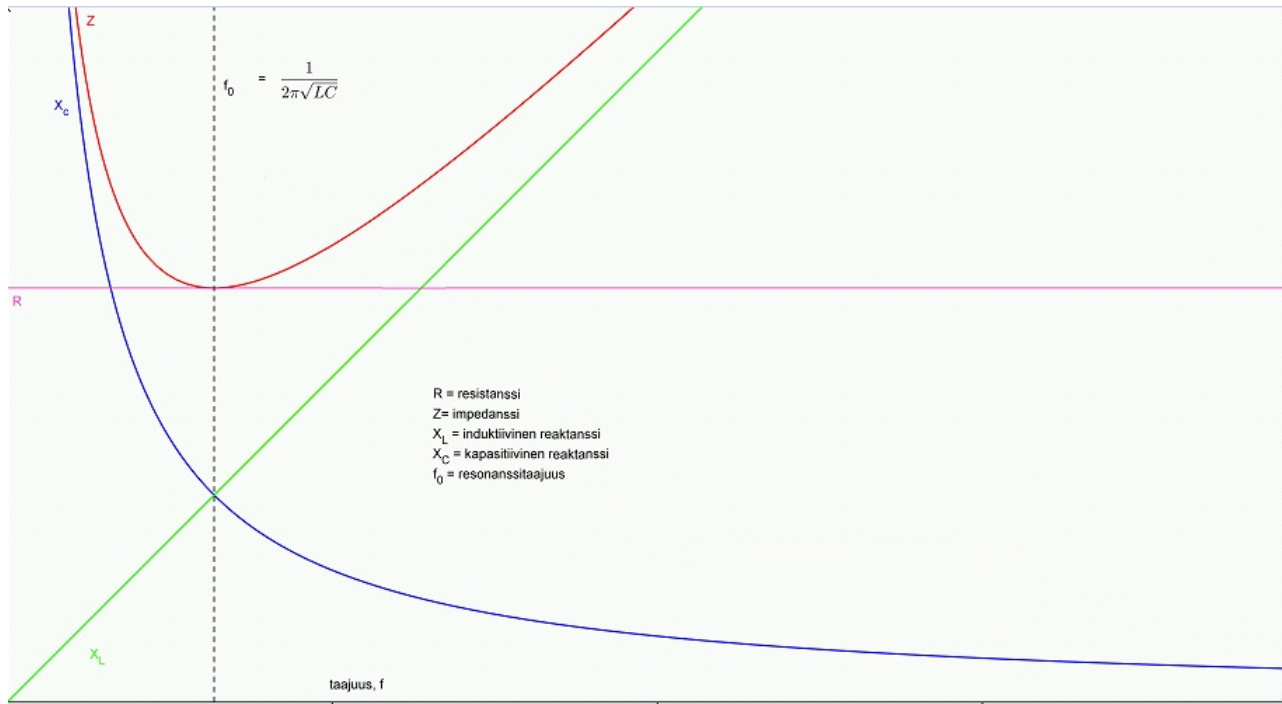
jossa

L = Piirin induktanssi

C = Piirin kapasitanssi

Kuvassa 8 on esitettyinä resistanssin, induktiivisen reaktanssin, kapasitiivisen reaktanssin, sekä impedanssin muodostuminen RLC-piirissä. Resonanssitaajuus on

RLC-piirin ominaistaaajuus. Resonanssissa ollessaan RLC-piirin reaktanssi on nolla, joten jännitehäviön ja sähkövirran välinen vaihe-erokin on nolla. Jännitehäviö ja sähkövirta ovat siis **samanvaiheisia**.



Kuva 8: Impedanssin muodostuminen eri taajuuksilla.

Kuvaa tutkimalla huomataan, että:

- Piirin resistanssi ei riipu taajuudesta.
- Pienillä taajuuksilla induktiivinen reaktanssi, X_L , on pieni ja kapasitiivinen reaktanssi, X_C , on suuri.
- Suurilla taajuuksilla induktiivinen reaktanssi, X_L , on suuri ja kapasitiivinen reaktanssi, X_C , on pieni.

- Resonanssitaajuuden kohdalla $X_L = X_C$
- Resonanssitaajuuden kohdalla impedanssi koostuu vain resistanssista, eli $Z = R$.

4.3.9 Muuntaja

Sähköenergia on kaikkein edullisinta siirtää korkeajännitteisenä. Tällöin tehonkulutus on pientä ja energiaa menee mahdollisimman vähän hukkaan. Kotitalouksissa sähköverkkoon kytkettävissä laitteissa käyttöjännite on kuitenkin vain 230V. Vaihtojännitteen suuruuden muuttamiseen sopivaksi käytetään **muuntajaa**. Muuntajasaa kaksi käämiä on yhdistettynä yhteisellä rautasydämellä. Muutettava sähkövirta johdetaan **ensiökäämiin**. Ensiökäämin muodostuva magneettikenttä läpäisee myös **toisiokäämin** johon sähkömagneettisen induktion mukaisesti indusoituu jännite. Indusoituvan jännitteen suuruuteen vaikuttaa kierrosten lukumäärä käämissä. Ensiökäämin ja toisiokäämin välisten jännitteiden suhde ideaalisessa muuntajassa on käämien kierrosten lukumäärän suhde. Eli:

$$\frac{U_{1,eff}}{U_{2,eff}} = \frac{N_1}{N_2}$$

Jos ensiöpuolelle syötetään sähkövirta $I_{1,eff}$ on siihen syötetty teho siten: $P_1 = U_{1,eff}I_{1,eff}$. Kun toisiopuolelle indusoituva sähkövirta on $I_{2,eff}$, on toisiopuolen teho $P_2 = U_{2,eff}I_{2,eff}$. Koska ideaalisessa käämissä ei ole resistanssia, ei myöskään tehohäviöitä tapahdu. Tällöin energian säilymislainmukaisesti $P_1 = P_2$. Siispä:

$$U_{1,eff}I_{1,eff} = U_{2,eff}I_{2,eff}$$

Siispä muuntajan jännitteiden suhde on:

$$\frac{U_{1,eff}}{U_{2,eff}} = \frac{I_{2,eff}}{I_{1,eff}}$$

Todellisuudessa muuntajassa tapahtuu tehohäviöitä. Täten siis ensiöteho on todellisuudessa toisiötehoa suurempi. Tämä tehohäviö voidaan havaita esimerkiksi lämpönä, jota muodostuu muuntajaa käytettäessä. Lisäksi tehohäviöitä aiheuttaa myös johtimissa syntyvät pyörrevirrat ja raudan magnetisoitumisen jatkuva vaihtelu. Hukkatehoa voidaan pyrkiä pienentämään käyttämällä paksuja johtimia, joiden resistanssi on pieni. Myös syntyviä pyörrevirtoja voidaan pienentää kokoamalla muuntajien rautasydämet ohuista levyistä. Todellisen muuntajan tehon suhde on $P_2 = \eta P_1$, jossa η on hyötysuhde. Edellä mainituilla keinoilla muuntajan hyötysuhde voidaan onnistua kasvattamaan jopa n.99%:iin.

4.4 Oppimisen edellytykset

Vaihtovirran ja vaihtovirtapiirien teoria rakentuvat voimakkaasti pyramidimallisesti, eli uusi tieto pohjautuu vahvasti vanhaan. Ymmärtääkseen uuden asian, on opiskelijan saatava tietty tärkeä tieto edellisestä asiasta. Tähän perustuu myös Mastery Learning -menetelmä. Tähän lukuun on kerätty ne seikat, jotka opiskelijan on eri sähkömagnetismin aihepiireistä ymmärrettävä voidakseen käsittää seuraavan asian.

Kokonaisuus aloitetaan tutkimalla **sähkömagneettista induktiota**. Jotta sähkömagneettisen induktion ymmärtää, on havaittava magneettikentän muutoksen johtimeen aiheuttava sähkövirta. Tämän jälkeen **Lenzin lain** ymmärtämiseksi on käsitettävä se, että systeemi pyrkii vastustamaan ympäristön muutosta. Tämän avulla voidaan päätellä sähkövirran suunta. **Induktiolakiin** siirryttäessä on pystyttävä ajattelemaan, mitkä asiat systeemissä voivat vaikuttaa siihen, millä tavalla ympäristö muuttuu. Mitä seikkoja muuttamalla systeemimme muuttuu? Puhtaalla päättelyllä voidaan päästä tulokseen, että systeemin oleelliset muuttuvat tekijät ovat: sauvan pituus, sauvan liikkeen nopeus, magneettivuon tiheys sekä väliaine, jossa systeemi on. **Itseinduktio** on looginen seuraus aiemmista ilmiöistä, koska muuttuva

magneettikenttä aiheuttaa sähkövirran, joka pyrkii muuttamaan magneettikenttää. Itseinduktio ilmiönä tulee merkittäväksi käsiteltäessä myöhemmin käämin toimintaa vaihtovirtapiirissä. **Generaattorin** käsittelyssä on oleellista, että magneettikentässä pyörivä silmukka indusoi päidensä väille lähdejännitteen, jonka suunta ja suuruus vaihtuvat säännöllisesti. Tästä seuraa jännitteen sinimuotoisuus. Silmukan asento suhteessa magneettikenttään vaikuttaa läpäisevään magneettivuohon, josta vaihtelu seuraa. Generaattori muuttaa liike-energiaa sähköenergiaksi ja onkin sähköntuotannon kannalta erittäin merkittävä laite.

Virtapiirien komponentit **vastus**, **kondensaattori** ja **käämi** on hyvä käsitellä jokainen erikseen, ennen kuin puhutaan varsinaisesta vaihtovirtapiiristä. Vastus toimii kuten tasavirtapiirissä, mutta kondensaattori ja käämi luovat tiettyjä hankaluuksia vaihtovirtapiirien käsittelyyn. **Kondensaattorin** läpi kulkeva sähkövirta vaihtovirtapiirissä aiheuttaa kondensaattorin jaksottaisen latautumisen ja purkautumisen. Sähkövirran suunnan muuttuessa kondensaattori purkaa varauksensa. Kondensaattorin purkautuminen aiheuttaa kuitenkin jännitteelle vielä kasvua siihen asti, että kondensaattori on täysin purkautunut. Seurauksena on vaihe-ero jännitehäviön ja sähkövirran välillä. **Käämissä** ei ideaalitapauksessa ole lainkaan resistanssia ja sen sähkövirtaa vastustava ominaisuus on puhtaasti reaktanssia. Tämä reaktanssi johtuu itseinduktiosta, eli käämissä tapahtuva jännitehäviö riippuu sähkövirran suuruuden muutoksen nopeudesta. Tämän seurauksena käämissäkin havaitaan vaihe-ero sähkövirran ja jännitehäviön välillä. Yhdistettäessä edellä olevat komponentit **RLC-piiriksi** on jokainen osa-alue otettava huomioon. Ohmin laki on yleistettävä vaihtovirralla ja impedanssin käsite on ymmärrettävä. Impedanssin koostuminen resistanssista ja reaktanssista helpottuu, jos käytettävissä on osoitinkaavio, joka avaa hyvin impedanssin luonnetta, sekä vaihe-eroa jännitehäviön ja sähkövirran välillä. Esille otettavista sovelluksista **sarjaresonanssipiirin** ymmärtäminen vaatii yleistä

ymmärrystä vaihtovirtapiirin toiminnasta. Impedanssin luonne, vaihtovirtapiirien komponenttien ominaisuudet, sekä vaihtojännitteen taajuuden suhde vaihe-eroon ovat avainasemassa, kun resonanssitaajuutta ja erityisesti sen merkitystä pyritään selvittämään kullekin RLC-piirille. **Muuntaja** on puolestaan keskinäisinduktanssin merkittävä sovellus, jossa palataan sähkömagneettiseen induktioon ja ymmärrykseen sähkömagneettisen induktion luonteesta. Taulukossa 1 on esitettynä oppimisen edellytykset sekä esimerkit tutoriaaleista, joilla käsitteisiin tutustutaan.

Käsite	Keskeinen ymmärrettävä asia	Esimerkki
Sähkömagneettinen induktio	Magneettikentän muutos synnyttää sähkövirran	Sauvamagneetti ja käämi
Lenzin laki	Systeemi pyrkii vastustamaan ympäristön muutosta	Simulaatio, jossa nähdään magneettikentän kenttäviivojen suunta
Induktiolaki	Ympäristön muutokset aiheuttavat sähkövirran	Generaattori - simulaatio
Itseinduktio	Sähkövirran suuruuden muuttumisen nopeuden vaikutus	Käämi
Generaattori	Säännöllinen magneettikentän muutos aiheuttaa sinimuotoisen vaihtojännitteen	Generaattori - simulaatio
Virtapiirin komponentit	Vaihe-erojen syntymiseen johtavat tekijät komponenteissa	
RLC-piiri	Komponenttien yhteisvaikutus. Impedanssi ja vaihe-ero	Sarjaresonanssi piiri.
Muuntaja	Keskinäisinduktanssi	

Taulukko 1: Oppimisen edellytykset taulukoituna

5 Tutoriaaleista

5.1 Ville ja tutoriaalit

Ville on sähköinen oppimisympäristö, johon on mahdollista luoda kursseja, tutoriaaleja tai yksittäisiä tehtäviä. Kurssia pitävä opettaja luo sähköiseen ympäristöön kurssin ja lisää materiaalin, joka kurssille osallistuvien opiskelijoiden tulee suorittaa saadakseen joko suorituspisteitä kurssille tai esimerkiksi saadakseen oikeuden työstää fysiikan harjoitustöitä. Opiskelija voi itse kirjautua järjestelmään ja tehdä nämä tehtävät hänelle itselleen sopivana ajankohtana. Järjestelmä kirjaa opiskelijan vastaukset ylös ja tallentaa ne, jonka jälkeen kurssia pitävä opettaja voi tarkastella opiskelijan suorituksia.

Kursseilla käytetään usein **tutoriaaleja**, joihin on yhdistettynä sekä tekstiä, kuvia että tehtäviä, jotka opiskelijan tulee tehdä. Tutoriaaleihin voidaan upottaa erilaisista valmiista tehtävätyypeistä rakennettuja tehtäviä, joissa opiskelijan tulee esimerkiksi osata täydentää oikea sana aukon kohdalle tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi tunnistaa kysytty alue kuvasta. Opettaja luo tehtävät ja määrittää niiden oikeat vastaukset ennen kuin hän julkaisee tutoriaalin, johon hän kyseisen tehtävän on liittänyt. Tehtävä antaa opiskelijalle jo hänen työskennellessään palautteen, jonka opettaja on ohjelmoinut tehtävän ilmoittamaan. Palaute voi olla esimerkiksi sanallinen palaute, jolla vihjataan opiskelijalle oikeaa vastausta. Lopulta opiskelija lähettää vastauksensa, jonka jälkeen opettaja näkee opiskelijan saaman pistemäärän ja vastaukset.

5.2 Hyvä tutoriaali

Tietokonepohjaisten simulaatioiden käyttäminen täydentävänä työvälineenä luonnontieteiden opiskelussa tiedetään tehokkaaksi. [26] Mielenkiinto simulaatioita koh-

taan on ollut viime vuosina kovassa kasvussa. Saadakseen simulaatioista täyden tehon oppilaiden oppimisen tueksi, on opettajien kuitenkin kiinnitettävä huomiota siihen, miten ja milloin simulaatioita käytetään. [27] Simulaatioilla korvataan monesti kokeellista työtä tai tuetaan sitä. Kokeellisen työskentelyn riskinä on joskus se, että siitä muodostuu vain sarja ohjeita, jotka opiskelija tekee kaavamaisesti. Tällöin on mahdollista, että opiskelija ei ymmärrä yhteyttä tekemänsä työn ja opittavan teorian välillä. [28] Onkin siis ensisijaisen tärkeää luoda sellaisia oppimistilanteita, jossa lähtökohdana on opiskelijalähtöinen ongelmanratkaisu liittyen arkisiin kysymyksiin. Lisäksi opiskelijalla on vapaus kokeilla ja olla luova ratkaisuihinsa. [29, 30]

Toimiakseen halutulla tavalla on tutoriaalin oltava motivoiva. Motivaation synnytyssä opiskelija jaksaa paneutua työskentelyyn. Motivaation kasvattamiseen on olemassa useita erilaisia teorioita, kuten vahvistamisteorioita ja intressi- ja tavoite-teoria. [1] Vahvistamisteorioissa oikeaa toimintaa palkitaan välittömästi esimerkiksi kehumalla luokan edessä. Tämän menetelmän heikkona puolena on tosin nykyisin havaittu sosiaalisen vertailun kasvua sekä epäonnistumisen pelon lisääntymistä. Menetelmän heikkoutena on myös opiskelijan tekemien tehtävien suuntautuminen tehtäviin, jotka ovat helppoja ratkaistavia. Sähköisessä tutoriaalissa voidaan opiskelijan motivaatiota vahvistaa kehuilla oikeista vastauksista ja ennen kaikkea sähköisen oppimateriaalin etuna on se, ettei epäonnistumista muiden opiskelijoiden edessä tapahdu.

Intressi- ja tavoiteteoriat ovat myös oleellisia tutoriaalin mielekkyyttä mietittäessä. Intressiteoria liittyy motivaation yksittäisiin kohteisiin ja intressit ovat persoonallisia tai tilannekohtaisia. Persoonallinen intressi kuvaa yksilön taipumusta olla kiinnostunut tietystä asiasta. Yleisesti ajatellen fysikaalisten tieteiden opiskelijalla voidaan ajatella todennäköisemmin olevan persoonallinen intressi ratkaista sähkömagnetismiin liittyvää tehtävää, kun taas jonkin muun alan opiskelijalla tällaista intressiä ei todennäköisesti ole. Tilannekohtainen intressi on puolestaan lyhytkestoi-

nen ja syntyy jonkin kokemuksen tai tilanteen vaikutuksesta, myös täysin uuteen ja vieraaseen kohteeseen. Tällainen tilannekohtainen intressi voi lopulta kehittyä myös persoonalliseksi intressiksi. Tällöin syntyneet tiedot ja taidot tilanteissa ohjaavat yksilön yhä useammin tiettyjen tehtävien ja tilanteiden pariin. Esimerkiksi siis sähkömagnetismin tutustumisvaiheessa oleva yksilö saattaa havaita osaavansa ja kiinnostuvansa asiasta yhä enemmän ja ohjautuvansa yhä useammin sen pariin. Hyvin suunniteltu ja toteutettu tutoriaali voisikin siis tarjota myös entuudestaan vähemmän asiaan perehtyneelle henkilölle tilannekohtaisia intressejä ja ohjata myös jatkossa sähkömagnetismin pariin.

Tavoiteteoria on merkityksellinen sillä sen mukaan tavoitteet ohjaavat toimintaa. Ne määrittävät toiminnan kohteen lisäksi toiminnan laadun. Eri yksilöiden tavoitteet voivat kuitenkin olla samat, mutta niiden motivaationaaliset merkitykset voivat olla täysin erilaiset. Tavoitteiden luonteilla on taipumus säilyä ja yksilö työskentelee usein samankaltaisten tehtävien parissa samoin tavoittein. Eli jos esimerkiksi yksilö työskentelee tehtävien parissa välttääkseen rangaistuksen, on oletettavaa että hän työskentelee samankaltaisten tehtävien parissa myös tulevaisuudessa samasta syystä.

Motivaation syntyminen ja synnyttäminen onkin siis useiden osatekijöiden summa. Hetkellisesti kasvattamista voidaan kehittää palkitsemalla, mutta lopulta yksilön omat intressit ja asettamat tavoitteet johtavat siihen, että tekeminen ja opiskelu on tehokasta ja mielekästä. Sähköinen oppimateriaali mahdollistaa opiskelijalle yksilöllisen ajan ja käytännössä rajattoman määrän yrityksiä tehtävän käsittelyyn, sekä vapauden kokeilla erilaisia menetelmiä ratkaistakseen muodostetun ongelman. Sähköiseen tutoriaaliin voidaan myös lisätä ohjeita ja apuja, mikäli opiskelija ei osaa ratkaista esitettyä ongelmaa. Esimerkiksi sähköopin töissä opiskelija pystyy tällöin kokeilemaan vapaasti erilaisia kytkentöjä ilman, että kalliit laitteet vioittuvat virheellisistä kytkennöistä.

Heikkoutena sähköisessä opetusmateriaalissa on tietysti se, ettei se osaa asettua

opiskelijan/ tehtävän ratkaisijan asemaan, haastavan tilanteen syntyessä ja mukautua ohjaamaan opiskelijan ajatusta kohti oikeaa ratkaisua. Lisäksi sähköinen tehtävä on sidottu siihen ohjelmoituun ratkaisumalliin, eikä se pysty muokkautumaan opiskelijan ajatusten tai ehdotusten mukaiseksi.

Tutoriaaliin voidaan upottaa yhdelle sivulle, sekä teoriaa tekstinä, simulaatiolaitteisto, jolla teoriaa voidaan testata, sekä itse tehtävä, joka opiskelijan on ratkaistava. Kun kaikki aineisto on samaan aikaan saatavilla, on työskentely tehokasta. Tällöin opiskelija voi keskittyä olennaiseen, eikä hänen tarvitse käyttää muistinsa kapasiteettia esimerkiksi tehtävän kysymyksen asetteluun. Lisäksi simulaatio mahdollistaa opiskelijalle välittömän palautteen, jolloin virhekäsityksiltä voidaan mahdollisesti välttyä.

6 Tutoriaalien kehittäminen

6.1 Kehittämistutkimus

Tutoriaalien kehittämisprosessi perustui kehittämistutkimukseen. Kehittämistutkimus koostuu usein neljästä osasta:

- 1) Tarveanalyysi
- 2) Kehittämisvaihe
- 3) Käytännön testaus ja arviointi
- 4) Jatkokehittäminen.

Kehittämistutkimus perustuu teoriaan tai havaittuun käytännöstä pohjautuvaan ongelmaan. Kehittämistutkimus aloitetaan tarveanalyysillä, jonka jälkeen analysoidaan kehittämisen mahdollisuudet ja haasteet sekä luodaan kehittämissuunnitelma. Kehittämissuunnitelman jälkeen rakennetaan ratkaisu, jolla havaittu ongelma pyritään ratkaisemaan. Kehittämisen jälkeen tuotos testataan ja lopulta saatu tuotos,

sekä koko tuottamisprosessi arvoidaan. Arvioinnin tulee perustua myös itse kehittämisprosessiin, jotta kehittämistä opittaisiin mahdollisimman monipuolisesti. [18]

Tämän tutkimuksen osalta opetussuunnitelmamuutokset ja sähköisten oppimisympäristöjen kehitys ja käyttö loivat tarpeen tutkimukselle. Kehittämisvaihe, testaus ja jatkokehittäminen suoritettiin yhteistyössä Turun yliopiston Fysiikan ja tähtitieteen laitoksen henkilöstön kanssa. Lisäksi tämä sykli toistettiin useaan otteeseen, jotta kehittämistä opittaisiin mahdollisimman monipuolisesti.

6.2 Tutoriaalien testaus

Sähköisen tutoriaalipaketin toteuttaminen luotiin kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa oli pyrkimyksenä luoda vaihtojännitteeseen ja -virtaan liittyvät tehtävät siten, että syntyisi kokonaisuus, jolla työhön kootut ilmiöt voidaan käsitellä ja opiskella. Ensimmäisen kierroksen jälkeen tutoriaalit annettiin Turun yliopiston Fysiikan ja tähtitieteen laitokselle kokeiluun. Kokeilusta saatiin palaute, jonka perusteella toisessa vaiheessa tehtäviä monipuolistettiin ja syvennettiin. Tässä vaiheessa pohdittiin myös voimakkaasti tehtävien pedagogisuutta sekä sitä, mihin tarkoitukseen tehtävät oikeastaan soveltuvatkaan. Saadussa palautteessa korostui tehtävien vaativuustason huomattava vaihtelu. Osan tehtävistä koettiin sopivan lähinnä peruskoulutasolle ja osan taas soveltuvan yliopisto-opiskeluun. Palautteissa korostui myös ajatus siitä, että tehtäviä käytettäisiin osaamista ja opettelua mittaavina testeinä, enemmän kuin ajatusta ohjaavina ja opettavina. Osa tehtävistä sai puolestaan hyvää palautetta sellaisinaan. Erityisesti niiden sisältämät teoriaosuudet koettiin sopiviksi, mutta kaikkien tehtävien ei koettu vaativan erityisempää opiskelua esitettyyn asiaan, vaan ne saattoivat aueta jopa itsestään.

Kolmannessa vaiheessa tehtäviin palattiin ja niitä pyrittiin kehittämään saadun palautteen sekä erilaisten pedagogisten näkemysten mukaisesti. Tehtävissä ilmenyttä mielivaltaisuutta sekä epäjohdonmukaisuutta pyrittiin siistimään käyttäjäys-

tävällisempään muotoon. Tärkeäksi koettiin myös tehtävien riittävä yksinkertaisuus, jotta opiskelijan motivaatio ja mielenkiinto tehtävää kohtaan säilyisi. Palaute herätti myös paljon ajatuksia ja näkökulmia opetuksen tavoitteellisuudesta sekä siitä, mihin sähköistä oppimateriaalia voidaan tällaisenaan käyttää. Käytettäisiinkö tehtäviä koemaisina mittareina vaiko jopa asiaa opettavana elementtinä. Tehtävät oli kuitenkin alunperin ajateltu nimenomaan asiaan orientoivana ja tutustuttavana kokonaisuutena ennemmin kuin opeteltua asiaa mittaavana tehtäväsarjana.

6.3 Tehtävätyyppien soveltuvuus

Verkko-oppimisympäristö Ville tarjoaa useita erilaisia mahdollisuuksia sähköisten oppimateriaalien ja tehtävien luomiseen. Tutoriaaleihin, joita ympäristössä voidaan luoda, on mahdollista upottaa sekä tekstiä, kuvia, että tehtäviä. Lisäksi on mahdollista upottaa erilaisia simulaatioita ja animaatioita.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin pohtimaan tällaisen ympäristön soveltuvuutta fysiikan opetukseen. Saadun palautteen ja kirjallisuuteen perustuvien tulosten mukaisesti osa tehtävätyypeistä soveltuu huomattavasti toisia paremmin käytettäväksi sähköisessä materiaalissa. Taulukossa 2 on esitettyinä erilaisten tehtävätyyppien soveltuvuus fysiikan käsitteiden opiskelussa.

Tyyppi	Vahvuus	Heikkous	Soveltuvuus
Kysymys-vastaus	Selkeä kohdistus Mahdollisuus antaa vihje ja ohjata ajatusta väärän vastauksen jälkeen.	Vastauksen voi selvittää toistamalla tehtävän ajattelematta kysymystä.	Testaava/opettava tehtävä
Tunnista alue kuvasta	Totuttaa kuvaajien lukemiseen sekä tärkeiden alueiden löytämiseen.	Syy-seuraussuhteen ymmärtäminen jää helposti opiskelijan omalle vastuulle.	Opettava tehtävä
Järjestä termit	Testaa käsitteiden erottamista toisistaan.	Tehtävän voi ratkaista toistamalla sitä ja opettelemalla ulkoa.	Opettava/testaava tehtävä
Aukkotäydennys	Voi testata käsitteiden muistamista. Voi ohjata käsitteen tarkkaan määritelmään.	Altis mielivaltaisille vastausvaihtoehdoille	Testaava tehtävä
Ristisana	Voi testata käsitteen muistamista.	Altis mielivaltaisille vastausvaihtoehdoille. Palkitsee ulkoa opettelusta.	Testaava tehtävä

Taulukko 2: Käytettyjen Ville-tehtävätyyppien soveltuvuus tehtävissä.

Liitten 1 mukaisessa **kysymys-vastaus** -tehtävässä tutoriaaliin on upotettuna tehtävä, johon tarjotaan valmiit vastausvaihtoehdot. Opiskelijan tehtävänä on valita oikea vastaus tuosta joukosta. Tehtävän vahvuutena on sen tarkka kohdentuminen tiettyyn kysyttävään asiaan, sekä Villen tarjoama mahdollisuus lisätä vastausvaihtoehtoihin vihjeitä. Tämä on arvokas ominaisuus erityisesti väärin vastausvaihtoehtoihin. Tällöin opiskelijan ajatusta voidaan ohjata kohti oikeaa ajatustapaa ja vastausta. Heikkoutena kysymys-vastaus tehtävässä on kuitenkin vastausvaihtoehtojen lukumäärä. Opiskelija voi halutessaan toistaa tehtävän useaan otteeseen ja karsia väärät vaihtoehdot täten pois. Tällöin opiskelijan ajatus ei välttämättä ohjaudu asiaan ja tehtävä voi olla jopa turha. Lisäksi luotaessa väärää vastausvaihtoehtoja olisi pyrittävä kehittämään vaihtoehtoja, jotka ovat mahdollisia, mutta väärä. Tehtävä soveltuu erityisesti ns. testaavaksi tehtäväksi, jolla opiskelija voi seurata omaa

osaamistaan.

Liitteessä 2 esitetyn mukaisessa **tunnista alue kuvasta** -tehtävässä opiskelija saa eteensä kuvan, sekä kysymyksiä, jotka liittyvät kuvaan. Kuva voi olla esimerkiksi fysikaalinen kuvaaja sarjaresonanssipiiristä, josta opiskelijan on osattava etsiä kysyttävät alueet. Tehtävän ehdottomana vahvuutena on sen kyky käyttää juurikin fysikaalista kuvaajaa hyväkseen, sekä opettaa opiskelijalle taitoa sen tulkitsemisesta. Tehtävä on helposti luotavissa hyvin voimakkaasti opiskelijan ajatusta ja ajattelua ohjaavaksi. Lisäksi tehtävällä voidaan osoittaa erilaisten asioiden välisiä yhteyksiä. Tehtävän vahvuus on myös osittain sen heikkous. Toisaalta ajatusta ohjaava tehtävä saattaa muodostua itse itsensä tekeväksi, eli opiskelija voi klikkailla eri alueet kuvista ilman, että hän ymmärtää minkään laisia syy-seuraus suhteita. Tehtävää suunniteltaessa onkin siis onnistuttava ratkaisemaan se, millä opiskelijan ajatus saadaan oikeisiin syy-seuraussuhteisiin. Tehtävätyyppiä onkin siis käytettävä oikeassa yhteydessä monipuolistamassa opiskelua. Tämä onnistuu esimerkiksi siten, että tehtävä on kuvallinen lisä kirjoitettuun tutoriaaliin. Täten opiskelija joutuu prosessoimaan lukemaansa tekstiä, sekä liittämään sen kuvaan luoden käsitteiden välisiä yhteyksiä ja kokonaisuuksia. Tehtävä soveltuu helposti opettavaksi tehtäväksi, jolla opiskelijan kykyä muodostaa käsitteellisiä kokonaisuuksia vahvistetaan.

Liitteessä 3 esitetyssä **järjestä termit** -tehtävässä opiskelijalle esitetään useita erilaisia käsitteitä tai termejä, jotka hänen tulee järjestää erilaisten alaotsikoiden alle. Tällaisella tehtävätyypillä voidaan helposti testata opiskelijan kykyä erottaa erityisesti toisiaan lähellä olevia käsitteitä ja niiden eroja. Lisäksi tehtävä ohjaa opiskelijan ajattelemaan useampaa alakäsitettä yhtä aikaisesti. Erityisesti motivoituneelle opiskelijalle tämä tarjoaa jälleen mahdollistaa suuremman kokonaisuuden luomisen, sekä käsitteiden yhdistämisen toisiinsa. Heikkona puolena tehtävätyypissä on sen mahdollistama uusiminen useaan otteeseen. Teoriassa onkin siis mahdollista, että opiskelija tekee saman tehtävän useaan kertaan, jonka jälkeen hän ikäänkuin

haarukoi oikeat vastaukset. Täten onkin siis opiskelijan vastuulla, että tehtävän tarjoamat syy-seuraussuhteet huomioidaan. Tehtävä tarjoaa opiskelijalle hyvän pohjan testata osaamistaan, jos opiskelija haluaa käyttää tehtävää oikein. Tehtävän vahvuus on oppimisen etenemistä testaavana tehtävänä erityisesti silloin, kun tehtävä tehdään huolellisesti. Tehtävä toimii myös opettavana tehtävänä, jos opiskelija on valmis pysähtymään ajattelemaan asiaa ja luomaan käsittellisiä kokonaisuuksia.

Liitten 4 mukaisessa **aukkotäydennys** -tehtävässä opiskelijan tehtävänä on nimensä mukaisesti täyttää tehtävässä esiintyvä aukko. Tehtävän hyvä puoli on se, että sillä voi testata, onko jokin käsite ymmärretty määritemätasolla. Sillä voi siis myös ikäänkuin pakottaa opiskelijan palaamaan tutoriaalissa esitettyyn tekstiin ja etsimään oikean vastauksen tekstistä. Tämä ei kuitenkaan erityisesti pidemmälle edenneessä opiskelussa pitäisi olla tehtävän tarkoitus. Tehtävän tarkoitus kun olisi herättää opiskelijassa ajatuksia ja edesauttaa ajattelua. Tehtävän heikko puoli onkin sen ulkoaopetteleva tyyli. Koska täydennettävissä lauseissa on usein mahdollisia synonyymeja, joita voidaan käyttää, saattaa oikean vastauksen löytäminen ja määrittäminen olla täysin mielivaltaista. Aukkotäydennystehtävässä onkin siis hyvä lähteä liikkeelle siitä, että täydennettävä aukko olisi juuri jokin tietty käsite, jolle ei vastaavaa synonyymiä ole välttämättä olemassa. Tällaisessa tehtävässä korostuu kuitenkin voimakkaasti ulkoa opettelu, joka, kuten mainittua, ei ole oppimistyyli, jota halutaan näillä tehtävillä edesauttaa. Hyvin suunniteltuna tehtävänä voidaan aukkotähtävää käyttää oppimista mittaavana tehtävänä. Tehtävän asetuksista saa päälle oikean vastauksen näkymisen vaihtoehdon. Tämä kuitenkin tekee tehtävästä kertakäyttöisen, joten mallivastauksen näkymistä kannattaa miettiä tarkoin. Joissakin tapauksissa vaikuttaisi, että se on kuitenkin parempi vaihtoehto, kuin ilman mallivastausta jääminen. Tällöin opiskelijalla on kuitenkin mahdollisuus vertailla, onko hän ollut vastatessaan oikeassa, mutta sähköisen ympäristön asettamat rajoitteet ja inhimillinen vuorovaikutus on puuttunut. Inhimillisen muuttujan puuttuminen on

muutenkin merkittävä tekijä pohdittaessa opiskelua.

Liittten 5 mukaisessa **ristisana** -tehtävässä opiskelija täyttää nimensä mukaisesti ristisanatehtävää. Tehtävä arpoo sanat aina uuteen järjestykseen, jonka jälkeen vihje kerrallaan opiskelija pääsee täyttämään ristisanaa. Tehtävä on monella tapaa hyvin paljon aukkotehtävää muistuttava, mutta se sulkee synonyymivaihtoehtojen kirjoittamisen pois. Tämä rajoitus heikentää huomattavasti tehtävän käyttöarvoa erityisesti fysiikan käsitteiden opiskelussa ja testaamisessa. Tehtävällä voidaan helposti opetella terminologiaa ja sitä, kuinka hyvin opiskelija osaa määritelmän perusteella nimetä oikean käsitteen. Tehtävän heikkona puolena on puolestaan sen yksipuoleisuus. Erityisesti fysiikan opiskelussa tehtävä rajoittuu juurikin määritelmän perusteella käsitteen nimeämiseen. Tehtävässä kuitenkin on hyvin tarkkaan mietittävä, mitä sillä voidaan kysyä, jotta vastaukset eivät tuntuisi mielivaltaisilta ja yksipuolisilta. Tehtävästä on kuitenkin erittäin haastavaa saada opiskelijalle kiinnostavaa ja sellaista, jossa hän jaksaisi miettiä asioita. Hyvin suurella todennäköisyydellä opiskelija saattaa katsoa tehtävän ja menettää mielenkiintonsa siihen jo hyvinkin lyhyessä ajassa. Hyvin suunniteltuna tehtävää voidaan käyttää oppimista mittaavana tehtävänä tai testinä, jos oikeita vastauksia ei opiskelijalle tarjota.

6.4 Tutoriaalin koostaminen

Esitetyistä tehtävätyypeistä ennakkoon tehtäviksi orientoiviksi tehtäviksi tuntuu sopivan parhaiten **tunnista alue**, **järjestä termit** ja **kysymys** tehtävät. Erityisesti näiden kolmen tehtävän kombinaatiot samassa tutoriaalissa, joista osaa käytetään opettavina, tietoa monipuolistavina ja käsitteitä suurempiin kokonaisuuksiin liittävinä tehtävinä ja osaa itse opiskelua mittaavina tehtävinä vaikuttavat mielekkäimmiltä.

Hyvin suunniteltu vaihtovirta -opetustutoriaali voisikin siis koostua neljästä osas-

ta. Ensimmäisenä toimisi simulaatio, jolla opiskelija saa tutustua käsitteeseen oma-toimisesti. Simulaation oheen on kuitenkin syytä antaa jonkinlainen tehtävä, jota opiskelija pyrkii ratkaisemaan. Ohje ei saa olla liian sitova/ohjaava vaan sen on annettava opiskelijalle mahdollisuus olla luova ja kokeilla erilaisia vaihtoehtoja ongelman ratkaisemiseksi.

Seuraavana opiskelijan eteen voisi tulla varsinainen leipäteksti. Teksti ei saisi olla liian raskas ja pitkä, sekä se olisi suunniteltava siten, että erilaiset opiskelijan mahdollisesti kehittämät ratkaisuvaihtoehdot tulisivat huomioiduksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tehtäviä olisi syytä kehittää jokaisen käyttökerran jälkeen sen perusteella, minkälaisia uusia ratkaisumalleja opiskelijat ovat kehittäneet. Vain tällaisella pitkällä kehitystyöllä voisi tutoriaali jonakin päivänä antaa ratkaisun kaikkiin mahdollisiin ratkaisutapoihin. Olisiko siis mahdollista, että tutoriaali erkanisi sisällään eri polkuihin, jotka muodostuisivat erilaisten saatujen tulosten perusteella?

Kolmannessa vaiheessa olisi vuorossa esimerkiksi tunnista kuvasta tyyppinen tehtävä, jolla opiskelija syventäisi leipätekstin asiaa suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Tässä vaiheessa tehtävä voisi olla hyvinkin ajatusta ohjaava, mutta ei kuitenkaan liian itsestään selvä.

Neljännessä vaiheessa voitaisiin käyttää lajittele käsitteet tai kysymys -muotoisia tehtäviä, joilla opiskelija itse pystyisi seuraamaan oman opiskelunsa ja oppimisensa tulosta. Tarvittaessa opiskelija voisi palata myös tehtävän alkuun, jos hän kokee ettei tutoriaali avannut hänelle käsitteitä riittävästi.

Vaikuttaa siltä, että sähköisen oppimateriaalin hyöty on, ainakin aluksi, voimakkaasti ennakohtehtävissä, orientoivina kokonaisuuksina. Tietokoneelle tehdyt tehtävät ovat yhden henkilön näkökulmasta tehdyt, eikä niissä voida välttämättä huomioida sitä, mihin suuntaan yhden tietyn opiskelijan ajatus ja ratkaisumallit ovat edenneet. Tietokonepohjaisen oppimateriaalin ongelma kiteytyy siihen, että tietokoneelta puuttuu inhimillinen kyky ajatella. Tämän takia se ei voi korvata ihmistä

opettajana. Ihminen pystyy samaistumaan toisen ihmisen ajatusmalliin huomattavasti paremmin sekä reagoida myös ennalta arvaamattomiin tilanteisiin tilanteen vaatimalla tavalla.

Sähköinen oppimateriaali myös vaatii pitkäkestoista työtä ja oppimateriaalin monipuolista kehittämistä. Iterointikertoja, joissa tehtäviä käytettäisiin ja joiden jälkeen tehtäviin palattaisiin ja niitä kehitettäisiin, tulisi olla useista kymmenistä jopa satoihin. Vain tällaisella kehitystyöllä tehtävät muodostuisivat mahdollisimman montaa erilaista oppijaa palveleviksi. Tämä ei ehkä fysiikan saralla muodostuisi ongelmaksi, koska itse teoria taustalla tuskin tulee muuttumaan.

7 Johtopäätökset

Vaihtovirtatutoriaalien ja tehtävätyyppien soveltuvuutta selvittävä kehittämistutkimus toteutettiin uuden voimaan tulleen opetussuunnitelman aiheuttaman oppisisältömuutoksen sekä voimakkaasti vallalla olevan sähköisen oppimateriaalin ja sähköisten oppimisympäristöjen määrän kasvun takia. Tutkimuksella pyrittiin selvittämään, minkälainen sähköinen opetusmateriaali olisi hyödyllistä fysiikan opetuksessa ja millä tavalla sitä kannattaisi käyttää jokapäiväisenä osana fysiikan opiskelua. Tutkimuksessa luotiin sähköistä oppimateriaalia Ville-verkkoympäristöön, jonka jälkeen tehtäviä annettiin testattavaksi ja niitä kehitettiin saadun palautteen perusteella.

Palautteen perusteella muutamat tehtävätyypit osoittautuivat selvästi toisia vahvemmiksi haluttaessa testata opiskelijoiden osaamista ja osa taas oli vaikuttaisi toimivan paremmin opettavina, vuorovaikutteisina, tehtävinä. Tutkimuksen tuloksena saatiin myös näkemys siitä, millä tavalla rakennettu tutoriaali voisi toimia fysiikan opetuksessa tehokkaasti ja millä tavalla tutoriaali palvelisi opettajaa opetusvälineenä. Lopputuloksena saatiin tutoriaalin toimivan tehokkaimmin, kun sitä käytetään orientoivana tehtävänä ja se koostetaan mahdollisimman monipuolista materiaalia ja tehtäviä sisältäväksi. Alkuosassa hyödynnetään opettavia ja loppuosassa testaavia

tehtävätyyppejä.

Jatkossa tutoriaalit vaatisivat lisää kokeilukertoja, jonka jälkeen niihin palat-
taisiin ja niitä kehitettäisiin jälleen saadun palautteen perusteella. Mitä enemmän
palautetta tutoriaaleista saadaan, sitä paremmin ne voidaan kehittää usean opis-
kelijan tarpeita palveleviksi. Järjestelmä tarjoaa myös lisää tehtävätyyppejä, joiden
toimivuutta fysiikan opetuksessa olisi hyvä testata.

Viitteet

- [1] Lehtinen Erno, Kuusinen Jorma, Vauras Marja, *Kasvatuspsykologia* (WSOY 2003)
- [2] Rauste-von Wright Marjaliisa, von Wright Johan *Oppiminen ja koulutus* (WSOY 1994)
- [3] Shulman, L. *Aristotle had it Right: On knowledge and pedagogy* (Occasional paper no. 4) East Lansing, Mich.: The Holmes Group (1990)
- [4] Tobin K. Tippins D.J., Gallard A. *Research on instructional strategies for teaching science* (1994)
- [5] Dressel, Marcus *On Teaching and Learning in College* San Francisco Jossey-Bass (1982)
- [6] Woods D.R. *Teaching and Learning: What can research tell us?* J.Coll. Sci. Teaching 25:229-232 (1995)
- [7] McKeachie *Teaching Tips: Strategies, Research and Theory for College and University Teachers 9th ed.* Lexington, Mass: D.C. Health and Company (1994)
- [8] National Research Council Staff, Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education *Science Teaching Reconsidered: A Handbook* National Academies Press (1997)
- [9] Barseghian *Three Trends That Define the Future of Teaching and Learning.* <http://blogs.kqed.org/mindshift/2011/02/three-trends-that-define-the-future-of-teaching-and-learning/> (2011) (Luettu 16.04.2014)
- [10] Shi Jian-hua, Liang hong *Explore the Effective Use of Multimedia Technology in College Physics Teaching*
- [11] Bloom, *The 2 Sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-to-One Tutoring.* (Educational Researcher, Vol. 13, No. 6. (Jun. - Jul., 1984), pp. 4-16. 1984)
- [12] Hämäläinen, Laine, Aaltonen, Revonsuo, *Mieli ja aivot.* (Kognitiivisen neurotieteen oppikirja (toim.) 2006)
- [13] Randall D. Knight, *Five easy lessons - Strategies for Successful Physics Teaching* (2004)
- [14] Hancock, *Cooperative learning and peer orientation effects on motivation and achievement.* (Journal of Educational Research 159–166, 97(3). 2004)
- [15] Meyer, Turner, *Discovering Emotion in Classroom Motivation Research.* (Educational Psychologist Volume 37, Issue 2, 2002)

- [16] Toivanen, *Yksilöllisen oppimisen malli Martinlaakson lukion matematiikan opetuksessa. Helsinki: Helsingin yliopisto. [https : //helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37927/graduToivanen.pdf?sequence = 3](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37927/graduToivanen.pdf?sequence=3). (2012) (Luettu 6.2.2014)*
- [17] Mazur Eric *Can We Teach Computers to Teach* American Institute of Physics (1991)
- [18] Edelson Daniel C. *Design Research: What We Learn When We Engage in Design* (School of Education and Social Policy Computer Science Department Northwestern University)
- [19] Lavonen, Kurki-Suonio, Hakulinen, *Galilei 7 - sähkömagnetismi* (WSOY 1999)
- [20] Duffin W.J. *Electricity and Magnetism* Fourth edition (1990)
- [21] Peck E.R. *Electricity and Magnetism* (1953)
- [22] Hatakka, Saari, Sirviö, Viiri, Yrjänäinen *Physica 7 Sähkömagnetismi* (WSOY 2006)
- [23] Young, Freedman *University Physics* (2008)
- [24] <http://physics.tutorvista.com/electricity-and-magnetism/magnetism.html>
- [25] <http://mjv-data.mbnet.fi/auton/1peruselektroniikka/2magnetismi/images/sol4.gif>
- [26] Khan S, *New pedagogies on teaching science with computer simulations. Journal Science Education Technology*; 20(3): 215-232. (2011)
- [27] Webb ME, *Affordances of ICT in science learning: implications for integrated pedagogy. (International Journal of Science Education 2005) 27(6): 705-735.*
- [28] Lopes, JB. *Aprender e ensinar Física*. (Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian; 2004.)
- [29] Gott R, Duggan S. *Investigative work in the science curriculum*. (Buckingham: Open University Press; 1995.)
- [30] Watson R. *Students' discussions in practical scientific inquiries. (International Journal of Science Education 2004; 26(1): 25-45.)*

8 Liitteet

Liite 1 Kysymys-vastaus tehtävä.

1

2

3

> Next question

Vaihtovirtapiirin ominaistaaajuutta kutsutaan nimellä:

Huipputaajuus

Minimitaajuus

Resonanssitaajuus

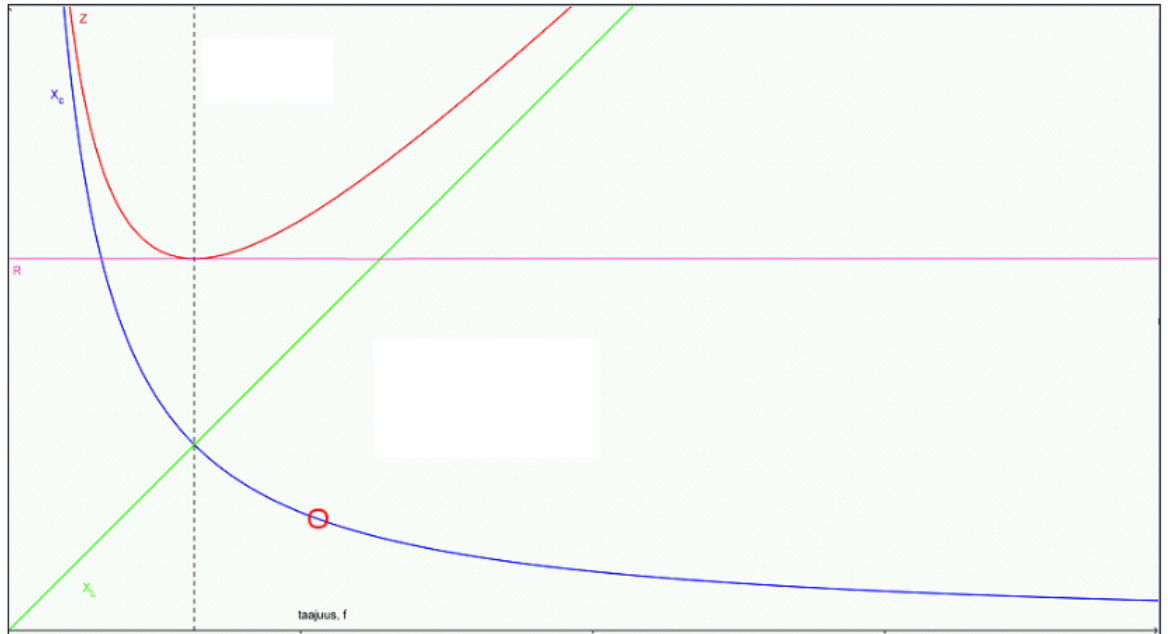
Maksimitaajuus

Kuva 9: Esimerkki kysymys-vastaus tehtävästä tutoriaalissa.

Liite 2 Tunnista alue kuvasta tehtävä.

[< Previous question](#)[✓ Check your answer](#)[> Next question](#)

Kapasiitiivinen reaktanssi riippuu vaihtovirran taajuudesta. Merkitse se kuvaan.



Kuva 10: Esimerkki tunnista alue kuvasta tehtävästä tutoriaalissa.

Liite 3 Järjestä termit tehtävä.

Items to categorize

vaihe-ero -90 astetta	Induktiivinen reaktanssi	Kapasitiivinen reaktanssi
Jännite virtaa perässä	Sisältää kaikkia muita	vaihe ero $\tan = X/R$
vaihe-ero 90 astetta	vaihe-ero 0	Jännite virran edellä

vastus	käämi	kondensaattori

RLC-piiri

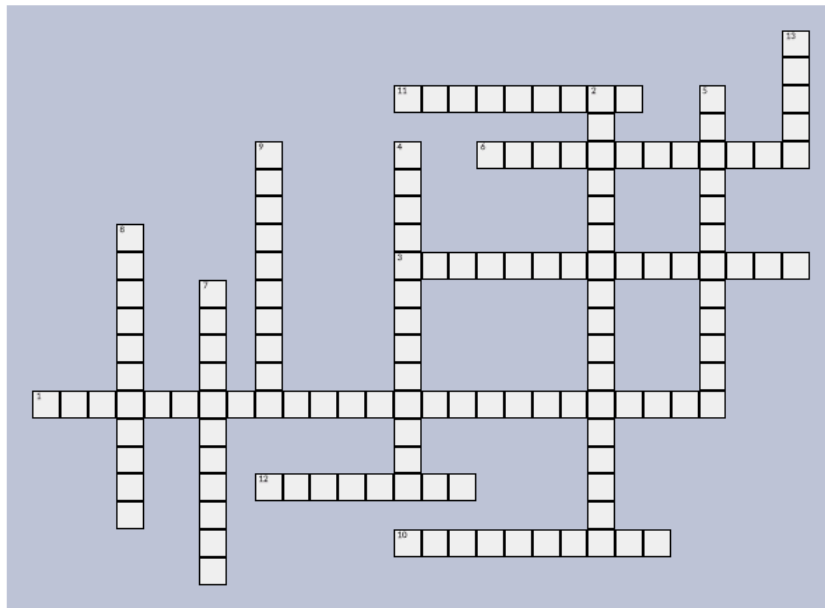
Kuva 11: Esimerkki järjestä termit tehtävästä tutorialissa.

Liite 4 Aukkotäydennys tehtävä.

Työnnettäessä sauvamagneettia johdinsilmukan läpi edestakaisin havaitaan johdinsilmukassa Tämä havaittu sähkövirta kuitenkin aina magneetin pysähtyessä. Muita tärkeitä havaintoja ovat havainnot siitä että sähkövirran suunta muuttuu sauvamagneetin liikkeen suunnan muuttuessa ja mitä sauvamagneetti johdinsilmukan sisällä tekee, sitä on havaittu sähkövirta. Muita tapoja lisätä syntyvän sähkövirran suuruutta on silmukkaan tai käyttää sauvamagneettia.

Kuva 12: Esimerkki aukkotäydennystehtävästä tutoriaalissa.

Liite 5 Ristisana tehtävä.



Across

- 1. kondensaattorilla
- 3. huippuarvo / 1,41
- 6. C
- 10. $R+X$
- 11. jännitehäviön ja sähkövirran välillä
- 12. keskimääräinen tehonkulutus

Kuva 13: Esimerkki ristisanatehtävä tehtävästä tutoriaalissa.